

PROPOSITION DE MÉTHODES DE GESTION BASÉES SUR DES INDICATEURS DE RISQUE
POUR LA CONTAMINATION DES ÉCOSYSTÈMES CAUSÉE PAR LES INONDATIONS AU
QUÉBEC

Par Catherine Nadon

Essai présenté au Centre universitaire de formation
en environnement et développement durable en vue
de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Monsieur Réjean De Ladurantaye

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Juin 2018

SOMMAIRE

Mots clés : gestion du risque, inondation, indicateur de risque, analyse multicritère, impacts de la contamination, industrie, milieu récepteur, égouts

Les dernières années ont été marquées par plusieurs sinistres liés aux crues printanières dans la province du Québec. Ce type de catastrophes naturelles est sujet à augmenter dans les prochaines années à cause des répercussions des changements climatiques sur le cycle de l'eau. Associées à l'urbanisation qui s'est faite en grande partie à proximité des cours d'eau, les inondations deviennent le véhicule de plusieurs contaminants toxiques qui détériorent les écosystèmes submergés par l'afflux massif d'eau. Dans le but de favoriser la gestion par prévention et d'aider à la mitigation de cette problématique, cet essai étudie le thème des inondations au Québec et propose des méthodes de gestion des impacts de ces phénomènes fondées sur des indicateurs de risque. Ces derniers ont été déterminés à l'aide de l'approche multicritère. Les conséquences et facteurs des rejets industriels et des rejets des réseaux d'égouts ont été évalués en plus des facteurs qui contribuent à la sensibilité des milieux récepteurs face à la contamination.

L'analyse basée sur des critères de gravité d'impacts, de probabilité d'occurrence ainsi que sur la réglementation en place, a résulté en la détermination de 10 indicateurs d'impacts négatifs majeurs. Il s'agit de la présence de réservoirs de stockage de substances dangereuses hors terre ou à toit flottant (cote de risque de 8), de la présence d'un réseau d'égouts unitaires ou semi-séparatifs (cote de risque de 12), de l'existence sur le territoire d'une station d'épuration d'une capacité supérieure ou égale à 17500 m³/d (cote de risque de 15) et/ou de type boues activées (cote de risque de 8), biofiltration (cote de risque de 12) ou physico-chimique (cote de risque de 12), de l'occurrence d'espèces en voie de disparition (cote de risque de 15) et/ou d'espèces menacées (cote de risque de 12), de la dévégétalisation de plus de 70% d'un territoire (cote de risque de 15) et de la présence d'urbanisation (cote de risque de 9). Trois indicateurs bénéfiques à la résilience des écosystèmes en cas d'inondations ont également été établis, soit la construction ou conservation de couloirs écologiques (cote de risque de -15), l'existence de milieux humides dans le milieu récepteur (cote de risque de -9) et la protection de certaines zones du territoire (cote de risque de -8).

Ce bilan des causes de répercussions prépondérantes a permis de proposer 12 recommandations pour la gestion des risques des inondations au Québec. Ces recommandations se résument en la recherche d'informations supplémentaires pour améliorer la représentativité des indicateurs, en la création de réglementations sur l'élaboration d'un plan de prévention par bassin versant basé sur les indicateurs de risques, en la démocratisation de l'information sur les risques des inondations à l'aide d'un site web et en l'utilisation de méthodes d'urbanisme et de technologies résilientes aux inondations. Il est également recommandé de mettre en place une politique à l'image du *Programme Delta* des Pays-Bas, qui utilisent la méthode ADM pour inclure les incertitudes des changements climatiques dans la prévention des impacts.

REMERCIEMENTS

Cet essai est le résultat d'un dur labeur et d'un défi personnel que j'ai décidé de relever il y a de cela deux ans, alors que je venais de terminer quatre ans d'études en ingénierie. La recherche du savoir a toujours été ancrée dans mes valeurs et cela je le dois tout particulièrement à mes parents, Pierrette Lapierre et Richard Nadon, qui m'ont toujours poussé et mené à me questionner sur la vie et à chérir l'éducation. Merci pour votre éternel soutien et votre aide pour la réussite de cet essai.

De plus, j'aimerais remercier également toutes les personnes qui ont su me conseiller et m'orienter dans la recherche des informations nécessaire à cette analyse. Il s'agit entre autres de mes collègues à Environnement Canada, de mon partenaire de vie, Felipe Patino, et de mon directeur de projet, Réjean De Ladurantaye. Une mention toute particulière à ce dernier qui a su m'encourager dans ma rédaction tout en étant compréhensif sur le plan personnel.

J'espère grandement que les conclusions et le recueil d'informations scientifiques intégrés à ce rapport pourront améliorer d'une quelconque façon la gestion environnementale des inondations au Québec. Sur ce, je vous laisse sur une citation d'Hubert Reeves que j'affectionne tout particulièrement et qui fait selon moi grandement réfléchir sur les priorités de l'homme.

« Man is the most insane species. He worships an invisible god and destroys a visible nature. Unaware that this nature he's destroying is this god he's worshiping. »

- Hubert Reeves-

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
1. MISE EN CONTEXTE.....	3
1.1 Les inondations : une problématique d’actualité.....	3
1.2 Objectifs et limitations de l’essai	6
1.3 Méthodologie.....	6
2. FACTEURS INFLUENÇANT LE RISQUE D’IMPACTS SUR L’ENVIRONNEMENT.....	8
2.1 Rejet en provenance d’industries	8
2.1.1 Types d’industries à risque	8
2.1.2 Conséquences en cas d’inondations	11
2.1.3 Situation au Québec.....	14
2.2 Rejet en provenance des réseaux d’égouts	16
2.2.1 Type de réseaux d’égouts municipaux	16
2.2.2 Conséquences en cas de débordements	20
2.2.3 Situation au Québec.....	22
2.3 Sensibilité des milieux.....	27
2.3.1 Caractéristiques influençant la résilience d’un écosystème.....	28
2.3.2 Situation au Québec.....	31
2.4 Législation.....	34
2.4.1 Rejets des industries	35
2.4.2 Rejet des réseaux d’égouts	37
2.4.3 Sensibilité des milieux récepteurs	38
3. STRATÉGIE D’ADAPTATION À L’INTERNATIONAL	39
3.1 Une directive européenne pour la gestion des inondations	39
3.2 La démocratisation efficace de l’information.....	40
3.3 Un programme de financement pour les villes éponges.....	41
3.4 Augmenter la résilience aux inondations par l’urbanisme et l’architecture	41
3.5 Le programme Delta des Pays-Bas.....	45
3.6 Technologie de réduction des surverses	46
4. DÉTERMINATION D’INDICATEURS POTENTIELS DE RISQUES.....	48
4.1 Synthèse des facteurs influençant le risque de contamination	48
4.2 Analyse multicritère	48
4.2.1 Explication des critères d’évaluation utilisés	48
4.2.2 Résultats	52

4.2.3 Justifications des pointages accordés	53
4.3 Analyse critique des résultats	66
5. RECOMMANDATIONS DE MÉTHODES DE GESTION POUR LE QUÉBEC	68
CONCLUSION	74
RÉFÉRENCES.....	77
BIBLIOGRAPHIE	86
ANNEXE 1 – SCHÉMATISATION DE LA PROBLÉMATIQUE DES INONDATIONS	88
ANNEXE 2 – LOCALISATION DES INDUSTRIES QUI POSSÈDENT DES MATIÈRES DANGEREUSES AU QUÉBEC EN 2007	89

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 2. 1 : Types d'industries les plus touchés par des incidents Natech déclenchés par des inondations selon 72 accidents enregistrés.....	11
Figure 2. 2 : Estimation de la probabilité des dommages aux équipements en fonction de la hauteur maximale de l'inondation et du carrée de la vitesse de la montée de l'eau	13
Figure 2. 3 : Illustration des surverses des réseaux d'égouts unitaires	17
Figure 2. 4 : Illustration du fonctionnement d'un clapet antiretour lors des crues ou inondations	18
Figure 2. 5 : Comparaison entre les réseaux d'égouts unitaires et semi-séparatifs	18
Figure 2. 6 : Qualité de l'eau autour de l'île de Montréal	24
Figure 3. 1 : Watersquare à Rotterdam.....	42
Figure 3. 2 : Parc Bishan à Singapour.....	43
Figure 3. 3 : Dakpark sur le toit d'un centre commercial.....	43
Figure 3. 4 : Projet expérimental d'habitation flottante de Rotterdam	44
Figure 3. 5 : Projet Madrid Rio	44
Figure 3. 6 : Illustration du fonctionnement d'un bassin d'orage.....	46
Figure 3. 7 : Illustration du fonctionnement d'un réservoir de rétention souterrain.....	47
Tableau 1. 1 : Mots clés et leurs équivalents pour la recherche	7
Tableau 2. 1 : Liste des secteurs industriels pouvant utiliser, stocker ou produire des substances toxiques au Québec.....	10
Tableau 2. 2 : Principales substances impliquées dans des incidents Natech déclenchés par des inondations et dangers de ces substances pour l'environnement.....	14
Tableau 2. 3 : Les 10 substances dangereuses les plus déclarées en 2007 en vertu du règlement sur les urgences environnementales	15
Tableau 2. 4 : Eaux récupérées par les colleteurs d'égouts.....	19
Tableau 2. 5 : Impacts des contaminants issus des débordements de réseaux d'égouts unitaires sur le milieu récepteur.....	21
Tableau 2. 6 : Impacts des contaminants les plus fréquents issus des débordements de réseaux d'égouts pluviaux sur le milieu récepteur	23
Tableau 2. 7 : Impacts des contaminants les plus fréquents issus du refoulement de réseaux d'égouts sanitaires sur le milieu récepteur.....	23
Tableau 2. 8 : Nombre d'ouvrages de surverses en fonction de la capacité de conception des stations d'assainissement des eaux usées au Québec pour l'année 2013	25

Tableau 2. 9 : Nombre d'ouvrages de surverses en fonction du type de station d'assainissement des eaux usées au Québec pour l'année 2013	26
Tableau 2. 10 : Respect de l'exigence de rejets d'eaux usées des stations d'épuration pour les années 2011 à 2013.....	26
Tableau 2. 11 : Répartition des débordements de 2013.....	27
Tableau 2. 12 : Liste des principales caractéristiques physico-chimiques d'un sol qui influencent la biodisponibilité des contaminants.....	30
Tableau 2. 13 : Exemple de caractéristiques physico-chimiques des types de sols	31
Tableau 4. 1 : Facteurs qui déterminent ou influencent l'impact des rejets des industries	49
Tableau 4. 2 : Facteurs qui déterminent ou influencent l'impact des rejets des réseaux d'égouts.....	50
Tableau 4. 3 : Facteurs qui déterminent ou influencent la sensibilité du milieu récepteur	50
Tableau 4. 4 : Explication des cotations du niveau d'importance relative des différents critères de l'analyse multicritère	51
Tableau 4. 5 : Indication des niveaux de risque sélectionnés pour les indicateurs en fonction de la probabilité d'occurrence et de la gravité de l'impact.....	52
Tableau 4. 6 : Résultats de l'analyse multicritère.....	54

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

β	Capacité tampon d'un sol;
CCME	Conseil canadien des ministres de l'environnement;
CEC	Capacité d'échange cationique;
COV	Composé organique volatil;
DBO	Demande biologique en oxygène;
DCO	Demande chimique en oxygène;
Eh	Potentiel rédox;
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques;
Ex.	Exemple;
HA	Hydrocarbure aromatique;
K	Conductivité hydraulique;
K _{oc}	Coefficient d'adsorption sur la M.O;
K _{ow}	Coefficient de partition octanol-eau;
K _{henry}	Constante de Henry;
LCPE	Loi canadienne pour la Protection de l'environnement;
LQE	Loi sur la Qualité de l'environnement (Q-2);
MDDELCC	Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques;
MES	Matière en suspension;
M.O	Matière organique;
N	Azote;
Natech	Risque de dangers technologiques engendré par des catastrophes naturelles;
N/A	Donnée non disponible;
O ₂	Oxygène;
OBV	Organisme de bassin versant;

OSBL	Organisme sans but lucratif;
P	Phosphore;
PPRLPI	Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables;
UNISDR	Bureau des Nations unies pour la réduction des risques de catastrophes.

LEXIQUE

Aléa	Évènement imprévisible comportant un risque (Antidote 9 : Correcteur – dictionnaire - guide, 2017);
Biocénose	Toutes espèces vivantes (faune et flore) (K. Marineau, notes de cours ENV 809 Valeur des écosystèmes et leur gestion, Automne 2016);
Biote	Milieu physique dans lequel vit la biocénose (K. Marineau, notes de cours ENV 809 Valeur des écosystèmes et leur gestion, Automne 2016);
Eaux parasites	Dans le cas des réseaux d'égouts, les eaux parasites constituent les liquides qui ne sont pas censés être captés par le réseau, c'est-à-dire les eaux de l'extérieur qui s'infiltrant par les fissures du matériau ou les eaux illicites d'entreprises qui se raccordent sans autorisation (Harrison, 2007);
Natech	Dans le texte, cette expression est utilisée pour faire référence aux accidents industriels majeurs engendrés par les inondations et impliquant des substances toxiques et dangereuses (Antonioni et al., 2009; El Hajj, 2014);
Prévention	Ensemble d'actions ayant pour but de limiter la gravité d'un évènement dangereux ou d'éviter l'occurrence de ce dernier (Antidote 9 : Correcteur – dictionnaire - guide, 2017);
Résilience	Aptitude d'un milieu à résister aux stress et perturbateurs extérieurs (Antidote 9 : Correcteur – dictionnaire - guide, 2017);
Résilience écosystémique	Aptitude d'un écosystème à résister aux stress et perturbateurs extérieurs et à se rétablir naturellement (Great Barrier Reef Marine Park Authority [GBRMAPA], 2009; Norpac et l'Institut du Développement Durable et Responsable de l'université catholique de Lille [IDDR], 2011a);
Risque	Se définit par la gravité, c'est-à-dire l'ampleur des impacts, et par la probabilité d'occurrence d'un évènement plus ou moins prévisible. Le risque peut être une opportunité ou un danger (Organisation internationale

de normalisation [ISO], 2015a; ISO, 2015b; K. Santini, notes de cours ENV 712 Système de gestion environnemental, Automne 2017);

Substances dangereuses ou toxiques

Dans le cadre de cet essai, les substances dangereuses ou toxiques sont définies par les substances toxiques à court ou long terme pour la biocénose ou l'environnement ainsi que par les substances inflammables et explosives. Ces substances sont dans l'annexe 1 de la *Loi canadienne pour la Protection de l'environnement* (LCPE) (a) et dans le *Règlement sur les urgences environnementales* (c).

INTRODUCTION

Les changements climatiques font partie des préoccupations internationales les plus importantes de notre époque. Cette problématique environnementale d'origine anthropique agit sur plusieurs moteurs de notre écosystème terrestre. Elle perturbe notamment le cycle naturel de l'eau en modifiant les réserves et la disponibilité de cette ressource. En effet, l'augmentation de la fonte des glaciers et de l'évapotranspiration transforme les systèmes hydrométéorologiques du globe et provoque des récurrences plus fréquentes de précipitations intenses. Ce phénomène joue inévitablement sur la probabilité d'occurrence des inondations et les scientifiques prévoient pour le Québec une hausse inquiétante de ce type de catastrophes naturelles au cours des prochaines années. (Berteaux, 2014; Historica Canada, 2016; Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MDDELCC], 10 novembre 2017a; Ouranos, 2015)

Les inondations se trouvent déjà au premier rang mondial des catastrophes naturelles les plus courantes avec 41% des événements en 2015 (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, 2016). Le Canada et le Québec, constitué d'un large réseau hydrographique, ne font pas exception à la règle et les inondations sont les catastrophes naturelles les plus souvent rencontrées sur le territoire (Gouvernement du Canada, 2015). Elles engendrent des coûts énormes pour la société, en plus d'entraîner la destruction d'infrastructures, le refoulement des égouts, la contamination de l'environnement et un danger pour la santé humaine et animale. Selon les données issues de la base de données EMDAT, pour les années 1990 à 2014, les inondations auraient coûté annuellement plus de 2 800 millions de dollars US au Canada (Bureau des Nations unies pour la réduction des risques de catastrophes [UNISDR], s.d.). Les montées d'eau sur la terre ferme au Québec étaient auparavant attribuables aux redoux printaniers et aux embâcles sur les rivières. Cependant, les phénomènes se produisent désormais à tout moment de l'année, car le réchauffement de l'hémisphère nord mène à des averses de pluie en plein hiver. (Ouranos, 2015)

Ainsi, les particularités de son réseau hydrologique, la diversité de son climat et l'amplification des précipitations dues aux changements climatiques font en sorte que les inondations constituent une problématique à surveiller pour le Québec. La gestion de ces dernières représente, en effet, un enjeu environnemental contemporain pour la province et prioritaire selon le regroupement des organismes de bassin versant du Québec (Gagné, 2016). La législation canadienne et québécoise et les politiques en ce qui a trait à l'environnement promeuvent la prévention de la contamination. Cependant, les approches actuellement employées pour faire face aux inondations sont davantage axées sur la réaction aux événements et centrées sur la santé humaine. Des efforts doivent donc être déployés sur l'anticipation de la contamination afin de se conformer à la résilience des écosystèmes et mettre en place des mesures de mitigations et des plans d'urgence adéquats. Les facteurs de risques pour l'environnement et non seulement

pour la santé humaine doivent être évalués afin de s'assurer de la pérennité à long terme d'un milieu. L'eau agit comme un transporteur de premier choix pour certains contaminants et les inondations peuvent mener à l'altération des milieux de vie pour la faune et la flore, voire même à une pollution toxique. En fin de compte, les humains seront affectés par cette dégradation de l'environnement.

Dans l'optique de consolider les connaissances actuelles sur les impacts de la contamination lors des inondations et d'en ressortir les éléments importants, le présent essai propose des méthodes d'intervention basées sur des indicateurs de risque pour améliorer la gestion de la contamination due aux inondations au Québec. L'étude se concentre sur les rejets industriels, les rejets d'égout lors des surverses ainsi que sur la sensibilité des écosystèmes. La recherche sur les types de rejets et les milieux récepteurs permettra d'élaborer à l'aide d'une analyse multicritère des indicateurs de risque. Ces derniers pourront servir à la préparation et la classification des situations d'urgence. Finalement, des recommandations pour les différents niveaux de risque déterminés seront proposées en se basant sur des solutions mises en place à l'international.

Cette étude a nécessité l'utilisation de plusieurs sources de références. Afin de s'assurer de la qualité et de la véracité des informations intégrées, ces dernières ont été vérifiées à l'aide de plusieurs sources variées lorsque cela était possible. De plus, la qualification des rédacteurs a été vérifiée et seul l'avis de professionnels du domaine a été retenu. On retrouve ainsi dans les références et la bibliographie des documents gouvernementaux, municipaux, des articles scientifiques et de la documentation provenant d'organismes reconnus en gestion de l'eau. La documentation consultée date, principalement, d'au plus 2008 afin de respecter 10 ans de pertinence et de mise à jour des données scientifiques.

L'essai est divisé en cinq chapitres. Le premier chapitre présente une mise en contexte de la problématique des inondations ainsi que les objectifs et la méthodologie de l'essai. Le deuxième et troisième chapitre constitue un résumé de la recherche littéraire au sujet des facteurs de risques des inondations et des méthodes de mitigations. Ils expliquent respectivement les facteurs qui représentent un risque d'impact pour les écosystèmes en ce qui a trait aux rejets d'industries, aux rejets des réseaux d'égouts lors des surverses et à la sensibilité des milieux récepteurs. De plus, les méthodes d'adaptations aux impacts des inondations employés à l'international pour mitiger l'effet de ces facteurs de risques sont présentées. Le quatrième chapitre quant à lui décrit la méthodologie d'analyse des facteurs de risques par l'approche de l'analyse multicritère et indique les résultats obtenus quant aux indicateurs les plus représentatifs de l'ampleur des impacts des inondations pour le Québec. Finalement, des recommandations inspirées des résultats de l'analyse multicritère ainsi que des méthodes d'adaptation à l'international sont proposées pour la situation au Québec dans le cinquième et dernier chapitre de ce document. Une conclusion clôt l'essai en résumant les points principaux de ce dernier.

1. MISE EN CONTEXTE

Comme mentionné dans l'introduction, les inondations constituent des phénomènes naturels qui peuvent être problématique pour les sociétés qui y font face. Il s'agit cependant d'un processus normal qui se produit dans certains écosystèmes et qui contribue à la perpétuité de ceux-ci. Le chapitre Mise en contexte permet de décrire ces afflux massifs selon leurs rôles et impacts sur les écosystèmes et de préciser la problématique urbaine. Les objectifs de l'essai ainsi que la méthodologie utilisée y sont également mentionnés afin d'établir un lien avec le but de ce document.

1.1 Les inondations : une problématique d'actualité

Les inondations sont des phénomènes naturels nécessaires à la stabilité de certains écosystèmes. En effet, la montée des eaux sur la terre ferme permet de déposer sur les sols des nutriments essentiels à la survie de la végétation. Elle entraîne également la connectivité de certains habitats pour des espèces qui n'auraient pas pu atteindre cette localisation autrement et elle façonne le sol de manière à créer de nouvelles niches écologiques pour une biocénose plus diversifiée. Tout en régulant la compétition interspécifique par l'élimination d'une partie des populations sensibles à sa présence, elle catalyse la floraison d'une biodiversité variée. Ainsi, les inondations peuvent avoir des effets bénéfiques à la vie dans une situation de débordement normal d'un cours d'eau comme sur les rives ou les plaines inondables. (Berthelot, 2014; Gouvernement du Canada, 2013) Cependant, elles peuvent aussi être des phénomènes destructeurs et générateurs de désagréments pour la population. Les événements du printemps 2017 au Québec en sont un bel exemple. Les inondations ont touché 261 municipalités dans 15 régions administratives différentes, forcé l'évacuation de 4066 citoyens et occasionné la perte totale de biens résidentiels pour certains individus. (Corriveau, 2017; Gouvernement du Québec, 2017a; Pineda, 2017) Plus récemment encore, le Nouveau-Brunswick a été dans l'obligation de déclarer l'état d'urgence au printemps 2018 à cause d'inondations majeures sur son territoire : 600 maisons ont été touchées par l'ordre d'évacuation dont 1900 citoyens. De plus, 190 sinistrés ont été notés auprès de la Croix-Rouge et plusieurs routes ont dû être fermées, dont la Transcanadienne. Le Québec a également écopé d'inondations sur son territoire, notamment en Beauce et en Gaspésie. (Météo Média, 2018; Radio-Canada, 2018)

En plus des pertes matérielles, des troubles psychologiques et des répercussions économiques, le débordement des cours d'eau peut également être le véhicule de la propagation de contaminants chimiques reliés aux activités de l'homme. Plusieurs études ont démontré la corrélation entre les événements d'inondations et l'apparition de polluants dans l'écosystème. Lorsque l'eau sort de son lit, les contaminants solubles qui se trouvaient au sol ou confinés dans un réceptacle endommagé sont emportés par le courant et se retrouvent transportés sur de grandes distances. D'autres contaminants ayant une bonne capacité d'absorption sur les particules de sol sont déplacés à l'aide des sédiments et se déposent éventuellement

plus loin en aval. De plus, les inondations engorgent les réseaux d'égouts. Ces derniers sont alors surchargés et rejettent dans l'environnement leur contenu pollué lors de surverses. (Agwaramgbo, Gonzales, Mielke, Rotkin-Ellman et Solomon, 2009; Antonioni, Bonvicini, Cozzani et Spadoni, 2009; Campedel, Cozzani, Krausmann et Renni, 2009; Clark, Du, FitzGerald et Hou, 2010; Garant, 2009; Gooré Bi, 2015; Ibragimow, Siepak et Walna, 2013)

Cette pollution a des conséquences sur les écosystèmes récepteurs. Certaines substances utilisées dans les industries ont la caractéristique d'être bioaccumulables et elles peuvent également être toxiques. En ce qui a trait aux composantes des surverses, elles peuvent être vectrices de maladies pour la faune et la flore. C'est pourquoi les inondations entraînent parfois la mort et la perte de biodiversité. (Garant, 2009, K. Marineau, notes de cours ENV 809 Valeur des écosystèmes et leur gestion, Automne 2016; Olivier, 2015)

La submersion des sols est un phénomène naturel causé par les précipitations, la montée des niveaux d'eau, les embâcles et le gel des sols. Cependant, dans un contexte d'ère géologique où la nature est grandement influencée par les activités de l'homme, l'occurrence de ces dernières est amplifiée par l'urbanisation. La majorité des villes ont été formées à proximité des plans et cours d'eau, et ce à l'intérieur des zones d'extension de crues. Cela a permis à des industries de s'y installer et aux inondations de les toucher davantage. De plus, les systèmes hydrologiques de ces écosystèmes ont été perturbés par l'imperméabilisation des sols et la déviation des cours d'eau pour la construction des communautés urbaines (canalisation, systèmes d'égouts, assèchement de terres pour l'agriculture, barrage hydroélectrique). Ces éléments ont engendré des facteurs supplémentaires de contribution aux inondations, soit les causes anthropiques qui sont l'imperméabilisation des sols (asphaltage des routes), les bris d'infrastructures de rétention (digue de barrage, tuyau d'aqueduc, égouts) et la déviation de la trajectoire naturelle des eaux. L'urbanisation a également contribué aux changements climatiques qui aggravent les causes naturelles d'inondations en plus d'engendrer, comme il est mentionné dans l'introduction, la fonte des glaciers. En somme, les inondations en milieux urbains sont destructrices puisqu'elles impactent une concentration élevée de résidents, mais également puisqu'elles libèrent dans l'environnement des contaminants chimiques liés aux activités humaines, aux industries. Les zones agricoles et les surverses sont aussi des sources de pollutions non négligeables lors du débordement des eaux. (Clark et al., 2010; R. Ladurantaye, notes de cours ENV 757 gestion de l'eau, Automne 2017; F. Mathieu, notes de cours ENV 817 Aménagement de collectivités durables, Hivers 2017; K. Marineau, notes de cours ENV 809 Valeur des écosystèmes et leur gestion, Automne 2016)

Actuellement, il n'existe pas d'outils opérationnels de cartographie et d'analyse des risques ouverts au public pour la gestion des inondations au Canada et au Québec. Plusieurs logiciels sont en cours de création par les Universités en collaboration avec les gouvernements fédéral, provincial et les municipalités.

Cependant, les risques qui sont majoritairement pris en compte dans la littérature sur la gestion des inondations sont axés sur la mitigation des dangers pour la santé humaine à court terme. Ce système aide à évaluer rapidement les dangers immédiats pour l'homme lorsqu'une inondation est prévue ou est survenu et permet d'agir en conséquence pour éviter la mort d'un citoyen. Toutefois, la gestion des risques potentiels des inondations sur les écosystèmes est habituellement évaluée après l'évènement ce qui permet la détérioration de la situation et la propagation des contaminants. Le ministère de la Sécurité publique du Canada a mis sur pied au courant des dernières années, une base de données qui regroupe l'ensemble des catastrophes naturelles ayant touché le Canada. Cette base de données permet de localiser les zones plus à risques. (Bérubé, 2017; Bolduc, 2016; Gouvernement du Québec, 2017b; Ministère de la Sécurité publique du Canada, 2017; Pelletier, 2017)

Les parties prenantes qui sont impliquées dans cette problématique sont multiples. Tout d'abord, on retrouve les citoyens et les industries qui sont impactées par les inondations. Puisque les couts associés aux dégâts et à la prévention des inondations sont partagés entre ceux-ci et les institutions gouvernementales au Canada, il est important qu'ils s'informent sur les risques d'inondations dans leurs secteurs et mettent en place des moyens de contrer et faire face à ces catastrophes naturelles. Ensuite, une autre partie intéressée est les gouvernements provinciaux et fédéraux qui émettent les législations environnementales et développent des mesures d'urgence pour la sécurité publique. Ils peuvent également aider financièrement les victimes ou leur procurer des ressources afin de les aider à faire face aux dégâts de l'inondation. Par la suite, les municipalités sont également impliquées dans les situations d'urgence déclenchée par les inondations ainsi que dans les mesures de prévention. En effet, elles peuvent réglementer en ce qui a trait à l'aménagement du territoire et du zonage du territoire à proximité des cours d'eau. Ils ont également le mandat de s'assurer de la sécurité de la population sur leur territoire et il ne faut pas oublier qu'étant le propriétaire d'infrastructures, elles sont également victimes des dommages engendrées par les inondations. De plus, une autre partie prenante impliquée dans la problématique constitue la communauté scientifique qui tente de prévoir et d'atténuer les impacts. Finalement, les assureurs devraient faire partie des entités qui aident les victimes de ces catastrophes. Cependant, les inondations de cause naturelle ne sont pas couvertes au Canada par les sociétés d'assurance contrairement à plusieurs pays d'Europe. (R. Ladurantaye, notes de cours ENV 757 gestion de l'eau, Automne 2017; F. Mathieu, notes de cours ENV 817 Aménagement de collectivités durables, Hivers 2017; Pelletier, 2017)

La figure A.1 placée à l'annexe 1 illustre les relations entre les causes, les impacts et les parties prenantes de la problématique des inondations. Elle résume ainsi les informations prodiguées dans cette section du document.

1.2 Objectifs et limitations de l'essai

Comme mentionné dans la mise en contexte (chapitre 1.1), la gestion des risques liés aux inondations est principalement fondée sur les dangers pour la santé humaine ainsi que sur les réactions d'urgence suite à l'évènement. Cet essai se veut donc une étude d'exploration des méthodes de gestion possibles pour le Québec pour diminuer et contrôler la contamination engendrée par ces catastrophes naturelles sur les écosystèmes. L'ouvrage se base sur le principe de précaution du développement durable et emploi des indicateurs de risque pour recommander les interventions prioritaires. Les indicateurs de risque seront définis par l'ampleur de l'impact sur les écosystèmes qui peut en ressortir et la probabilité d'occurrence de ces impacts.

Les objectifs spécifiques visés sont les suivants :

- 1) Caractériser et identifier les types d'industries qui représentent un risque de contamination en cas d'inondations, les types de réseaux d'égouts et leurs surverses et les différents milieux récepteurs et leur sensibilité à la submersion des eaux;
- 2) Déterminer des indicateurs pour évaluer le risque de l'inondation sur l'environnement en considérant le type d'industries touchées, le réseau d'égouts collecteurs et ses surverses et la sensibilité du milieu récepteur;
- 3) Proposer des méthodes de gestion de la contamination des inondations en lien avec les indicateurs de risque déterminés.

Quelques limitations ont restreint l'ampleur du projet. Tout d'abord, les informations divulguées dans les chapitres 1 à 3 sont tirées de la documentation disponible et accessible à l'aide de la bibliothèque de l'université de Sherbrooke et des bibliothèques en ligne offertes gratuitement. Certains documents, données ou renseignements n'étaient pas toujours ouverts au public ou à la communauté universitaire. Le présent essai se base donc uniquement sur les références et la bibliographie mentionnées dans les sections du même nom. De plus, une recherche plus élaborée aurait pu mener à des résultats plus approfondis selon le nombre de sources consultées.

1.3 Méthodologie

La réalisation de cet ouvrage a nécessité la planification et la réalisation de différentes étapes de travail. Tout d'abord, il a été requis d'organiser la recherche littéraire afin de s'assurer de la pertinence de références employées. Les sources ont été limitées par la date de publication des documents. Seule la documentation postérieure à 2008 (inclusivement) a été consultée, à l'exception de quelques documents. Ensuite, le moteur de recherche Google Scholar a majoritairement été utilisé. La bibliothèque de l'université de Sherbrooke a été ajoutée aux bibliothèques déjà accessibles par ce moteur de recherche. De plus, la crédibilité des sources

a été analysée pour la fiabilité des informations. Les organisations scientifiques reconnues, les organisations gouvernementales, les municipalités et les articles provenant de revues reconnues ont été privilégiés. Lorsque la fiabilité d'une source était incertaine, l'information devait être confirmée par une autre référence. Le tableau 1.1 indique les termes qui ont servi à créer les formules booléennes pour la recherche dans Google Scholar. Les essais, mémoires et thèses ont permis de trouver également d'autres sources de références grâce à leur bibliographie.

Tableau 1.1 : Mots clés et leurs équivalents pour la recherche

Concepts	Synonymes	Variantes	Mots dérivés	Anglais
Inondation(s)	Montée des eaux, débordement, afflux, écoulement	Inond*, débordements	Plaine* inondable*, rive*	Flood*, hazardous event
Industrie(s)	Entreprise(s), compagnie(s), activité(s) économique(s)	Industr*		Industry, economic activity, company
Contamination(s)	Pollution, matière(s) dangereuse(s), substance(s) toxique(s)	Contamin*, pollu*	intoxication	Contamination, pollu*, hazardous material
Réseau(x) d'égouts	Canalisation(s), puisard(s), conduite(s), eaux usées, eaux ménagères,			Sewer system, waste water,
Surverse(s)	Trop-plein, débordement, rejet			Overflow of waste water
Écosystème(s) sensible(s)	Milieu(x) sensible(s), espèce(s) en péril(s), vulnérable(s)			Sensitive ecosystem, species at risk, vulnerable
Mitigation(s)	Solution, atténuation, prévention, précaution	Mitig*, atténu*, solution*		Mitigation(s), solution(s), prevention, precaution
Impact(s) environnemental(s)	Conséquence(s) environnementale(s), répercussion(s) écologique(s)	Environnement*, écologi*		Environmental impact, result, repercussion
Indicateur(s)	Variable(s), facteur(s)	Indi*		Indicator, factor

Suite à la revue de littérature, les informations trouvées ont été étudiées. Les facteurs d'impacts des inondations en ce qui a trait aux rejets d'industries, aux surverses des réseaux d'égouts et à la sensibilité des milieux récepteurs ont été relevés de cette documentation. Par la suite, ces facteurs ont été analysés selon des critères de probabilité d'occurrences ainsi que d'ampleur des dommages causés. Plusieurs niveaux de critères ont été fixés afin de déterminer les facteurs les plus dommageables ou les plus avantageux pour la résilience écologique. Ces critères sont définis dans le chapitre 4 sur l'analyse multicritère, en plus de la démarche d'analyse qui a été appliquée.

2. FACTEURS INFLUENÇANT LE RISQUE D'IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

Plusieurs facteurs peuvent influencer la portée des dommages causés par les inondations. Cet essai se concentre sur les impacts des rejets en provenance des industries et de la contamination des surverses du réseau d'égouts lors des épisodes d'inondation. De plus, la contribution de la sensibilité du territoire qui subit la perturbation est étudiée par rapport à ces deux types de pollution. Le chapitre 2 résume les facteurs pouvant aggraver les conséquences des inondations sur les écosystèmes qui ont été trouvés dans la littérature. Tout d'abord, les rejets en provenance d'industries seront abordés. Par la suite, il sera question des surverses et de la sensibilité des milieux à ces déversements.

2.1 Rejet en provenance d'industries

Il est connu que les industries sont la source d'une grande partie de la pollution de la planète. Les rejets en provenance de leurs procédés sont généralement réglementés par la loi et font l'objet d'une surveillance pour être contrôlés et éviter une dégradation du milieu. Cependant, lors de sinistres tels que les inondations, des substances normalement confinées peuvent se retrouver accidentellement dans l'environnement en grande quantité et réagir avec l'eau. La contamination déclenchée est alors inhabituelle et les répercussions qu'elle peut avoir sur les écosystèmes sont souvent inconnues de prime abord. Ce type d'aléa d'origine naturel et industriel est nommé Natech dans la littérature. Leur occurrence est très faible, soit d'environ 2 à 4%, mais leurs conséquences sont majeures pour une société, son milieu et ses voisins. (Antonioni et al., 2009; El Hajj, 2014) Le type d'industrie sur un territoire peut grandement influencer les impacts d'une inondation. Pour y déterminer des facteurs marquant de la contribution aux dommages environnementaux, ce sujet est discuté ci-dessous.

2.1.1 Types d'industries à risque

Les industries sont le roulement de l'économie d'une société et elles sont donc essentielles à la perpétuité d'une communauté. On retrouve plusieurs catégories d'industries qui œuvrent dans le secteur primaire (extraction de ressources naturelles et création de la matière première), secondaire (transformation de la matière première) ou tertiaire (biens et services). Ces trois secteurs sont complémentaires et à la base du fonctionnement d'une collectivité.

Certaines entreprises nécessitent l'utilisation de substances qui peuvent nuire à la santé des écosystèmes dans leurs procédés de fabrication, leurs biens et leurs services. Les produits entrants peuvent également poser problème s'ils se retrouvent libres dans l'environnement. On peut prendre comme exemple les industries minières qui ont recours à des composés de cyanure afin d'extraire le minerai de la roche-mère ou bien les industries pétrolières qui puisent du pétrole, une substance toxique pour les êtres vivants, même

lorsque transformé en essence. D'autres créations de l'homme telles que les pesticides, sont employées dans les industries agricoles pour protéger leurs récoltes.

Cependant, ces substances sont souvent bioaccumulables, persistantes et entraînent des problèmes neurologiques chez les êtres vivants. Ainsi, les activités économiques découlant des trois secteurs économiques, soit primaires, tertiaires et secondaires peuvent utiliser, stocker ou produire des substances nocives. Il est important que les entreprises aient connaissance des produits dangereux utilisés, stockés ou produits durant leurs activités puisqu'elles sont les premières à pouvoir intervenir sur la prévention de la libération de ses substances dans l'environnement. Dans le cadre de cet essai, les substances dangereuses, nocives et toxiques seront définies par les substances toxiques à court ou long terme pour la biocénose ou l'environnement ainsi que par les substances inflammables et explosives. L'annexe 1 de la *Loi canadienne pour la Protection de l'environnement* (LCPE) (a) énumère des substances toxiques pour l'environnement. De plus, le *Règlement sur les urgences environnementales* (c) liste des substances dites dangereuses pour l'environnement, soit des substances écotoxiques, inflammables et explosives.

Plusieurs moyens peuvent aider les entreprises à se classer par rapport à leur risque d'incident Natech. Il faut avant tout que les dirigeants, de l'entreprise ou des institutions de sécurité publique, examinent les activités de l'organisation pour connaître les possibles dangers face aux inondations. Les classifications fédérale et provinciale des entreprises sont une des méthodes envisageables. En effet, les industries sont classées au Canada selon le système de classification de l'Amérique du Nord SCIAN. Ce système se base sur les processus de production des entreprises. Ceci signifie qu'elles sont regroupées selon les intrants qu'elles utilisent soit le capital, la main d'œuvre, l'énergie, les matières premières et les services pour la réalisation d'un extrant. (Statistique Canada, 2017) Dans le cadre d'une utilisation de cette classification pour une analyse de risques de l'entreprise en cas d'inondation, elle peut servir à détecter les industries dont les procédés de productions contiennent l'utilisation de substances toxiques. Cependant, la nature de l'extrait n'est pas considérée. Cette classification ne peut donc pas servir à elle seule pour la détermination du risque de l'entreprise pour les Natech. Selon Entreprise Québec (2017), la province comporte sur son territoire 22 des secteurs d'activité du SCIAN. Il est possible de constater que de ces 22 secteurs, 12 sont potentiellement des secteurs qui comportent des entreprises qui utilisent, stockent ou produisent des matières dangereuses. Ces secteurs sont énumérés dans le tableau 2.1.

Ainsi, les industries qui font partie de ces secteurs sont à risques et devraient vérifier leurs installations et instaurer des plans de prévention. Cette démarche devrait d'autant plus être appliquée si les industries sont à proximité des cours d'eau, comme plusieurs le sont au Québec. Ces particularités impliquent également que le risque d'un sinistre Natech dû aux inondations est envisageable pour la province et que la réglementation devrait prendre ce danger en considération.

Tableau 2. 1 : Liste des secteurs industriels pouvant utiliser, stocker ou produire des substances toxiques au Québec (Inspiré de Entreprise Québec, 2017)

1. Agriculture, foresterie, pêche et chasse	2. Services administratifs, services de soutien, services de gestion des déchets et services d'assainissement
3. Commerce de détail	4. Services de restauration et débit de boisson
5. Commerce de gros	6. Services professionnels, scientifiques et techniques
7. Construction	8. Soins de santé et assistance sociale
9. Extraction minière, exploitation en carrière, et extraction de pétrole et de gaz	10. Transport et entreposage
11. Fabrication	12. Transport par camion

Une étude menée par Krausmann et Mushtaq (2008) permet d'identifier des facteurs déterminants pour le risque d'occurrence d'une catastrophe industrielle liée à une inondation. Comme mentionné précédemment, l'activité de l'entreprise est un élément primordial à considérer, mais il y a également le type et la quantité de substances dangereuses et/ou réagissant avec l'eau présente, l'âge des installations de l'industrie ainsi que la réglementation appliquée aux opérations de l'entreprise. Tous ses éléments vont influencer le degré de menace. Une mine sera ainsi plus vulnérable si ces installations se font vieilles, si elle utilise plusieurs substances chimiques pour extraire son minerai de la roche mère et si elle entrepose une grande quantité de ce produit. Les substances considérées comme dangereuses pour l'environnement selon cette publication sont les substances écotoxiques, les substances inflammables et les substances explosives. Sept types d'industrie utilisent des produits entrant dans ces catégories et sont plus souvent sujets aux incidents Natechs. Il s'agit des installations pétrochimiques et les raffineries, la transformation des métaux, les mines, la distribution en gros et au détail ainsi que l'entreposage, la production et l'entreposage d'explosifs (ex : feu d'artifice), les fabricants de produits chimiques fins (ex : pharmaceutique, pesticides et fertilisant) et les fabricants de produits chimiques généraux. Ceci est une liste non exhaustive et il serait important d'établir selon les spécificités de l'économie du Québec les industries à risque potentiellement élevées.

Le risque est également influencé par les caractéristiques de l'inondation. Les répercussions seront plus grandes selon la hauteur de l'inondation, la vitesse de la montée des eaux, la durée de l'évènement, la durée de la submersion. Les plus gros dangers sont associés à une montée rapide des eaux et à un déplacement sur de longues distances. (Krausmann et Mushtaq, 2008) Une industrie à proximité d'un cours d'eau ou un plan d'eau ainsi que celle construite sur un terrain à basse élévation comporteront une plus grande probabilité d'être affecté par les caractéristiques physiques de l'inondation. La figure 2.1 illustre les industries ayant

été les plus touchées par des incidents Natech déclenchés par une inondation selon 72 accidents enregistrés et disponibles dans la littérature.

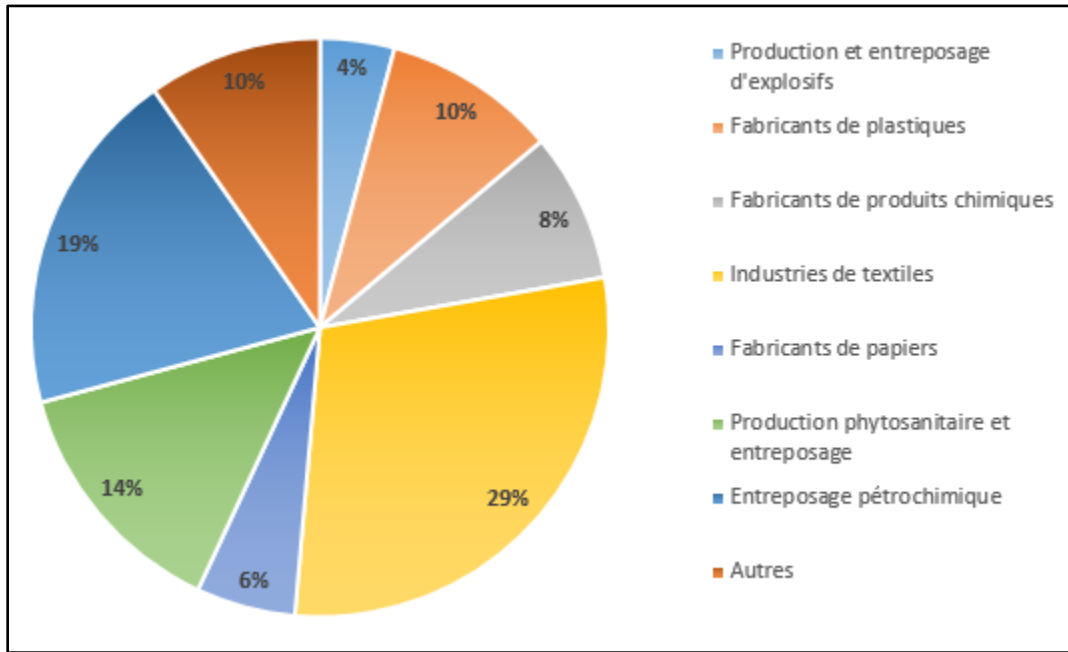


Figure 2. 1 : Types d'industries les plus touchés par des incidents Natech déclenchés par des inondations selon 72 accidents enregistrés (tiré de Campedel et al., 2009)

2.1.2 Conséquences en cas d'inondations

Une inondation en industrie ne mène pas inévitablement à un incident Natech ou à un rejet de contaminants dans l'environnement. Comme mentionné dans la section 2.1.1, les caractéristiques physiques de l'inondation ainsi que le type d'industrie et les conditions d'installation jouent un rôle majeur dans la vulnérabilité de l'établissement.

Une étude menée par Krausmann et Mushtaq (2008) met en lumière les impacts d'inondation d'intensités différentes sur les sept types d'industries nommés plus haut qui utilise des substances écotoxiques, inflammables et explosives : les installations pétrochimiques et les raffineries, la transformation des métaux, les mines, la distribution en gros et au détail ainsi que l'entreposage, la production et l'entreposage d'explosifs (ex : feu d'artifice), les fabricants de produits chimiques fins (ex : pharmaceutique, pesticides et fertilisant) et les fabricants de produits chimiques généraux. Les intensités des inondations ont été divisées en trois catégories :

- Inondation d'intensité faible : montée lente qui permet la mise en œuvre des mesures d'urgence, durée < 1 jour, hauteur < 0,5 m;
- Inondations d'intensité moyenne : rapidité de la montée de l'eau dangereuse pour la population, durée de quelques jours, hauteur < 1,5 m;

- Inondations de forte intensité : Endommagement des structures des bâtiments et du sol, risque de noyade, durée de plusieurs jours ou semaines, hauteur > 1,5 m.

La dernière catégorie peut être représentée par l'inondation causée par un tsunami. C'est une montée d'eau rapide, destructrice et meurtrière.

En premier lieu, l'étude a révélé qu'à faible intensité, seules les mines comportaient des risques de libération de contaminants. Cela est dû au barrage de résidus miniers qui peut déborder lors de la montée des eaux et subir de l'érosion. Les risques restaient cependant mineurs, voire négligeables.

En deuxième lieu, pour des inondations d'intensité moyenne, la majorité des industries subissaient des déplacements de barils de stockage avec des risques potentiels de rejet de petites quantités de contaminants. Les installations suivantes de contaminants explosifs présentaient en plus des risques d'explosion et de feu s'il y avait présence d'une source de combustion. : les installations pétrochimiques et les raffineries, la distribution en gros et au détail ainsi que l'entreposage et la production et l'entreposage d'explosifs. Le risque était grandement plus élevé pour la production et l'entreposage d'explosifs. Les industries de transformation des métaux, la distribution en gros et au détail ainsi que l'entreposage et les fabricants de produits chimiques généraux subissaient des rejets de petites quantités de produits écotoxiques et dangereux hors du site de l'établissement. Finalement, les industries qui montraient le plus gros risque de contaminations dangereuses étaient les mines et les fabricants de produits chimiques fins. Les substances rejetées étaient très toxiques en faible quantité et pouvaient se rendre hors du site et polluer facilement d'autres milieux.

En troisième lieu, pour des inondations de forte intensité, toutes les industries ont rencontré des endommagements au niveau des équipements ce qui entraînait la libération d'une grande quantité de contaminants. De la pollution toxique hors site sévère était également une conséquence engendrée pour les industries touchées, à l'exception des entreprises de production et d'entreposage d'explosif pour lesquelles les produits explosaient avant de pouvoir migrer chez les voisins. En ce sens, les industries de distribution en gros et au détail ainsi que l'entreposage, les installations pétrochimiques et les raffineries et la production et l'entreposage d'explosifs étaient sujettes à de grands risques d'explosion, particulièrement la production et l'entreposage d'explosifs. De plus faibles risques d'explosions et de feux étaient présents pour les fabricants de produits chimiques fins et les fabricants de produits chimiques généraux à cause du mélange possible des substances incompatibles. De plus, des réactions secondaires non prévisibles dues aux mélanges de différentes substances comportaient des chances de se produire pour les industries suivantes : la distribution en gros et au détail ainsi que l'entreposage, les fabricants de produits chimiques fins et les fabricants de produits chimiques généraux. Cependant, les déversements industriels les plus dangereux se produisaient une fois de plus dans les mines, mais également dans les compagnies de transformation des

métaux. Les puissantes inondations entraînaient de la contamination fortement toxique et persistante hors du site et polluaient l'eau. Dans le cas des mines, la chaîne alimentaire était également affectée. La figure 2.2 illustre le rapport entre les dommages sur les installations des industries et les caractéristiques physiques des inondations.

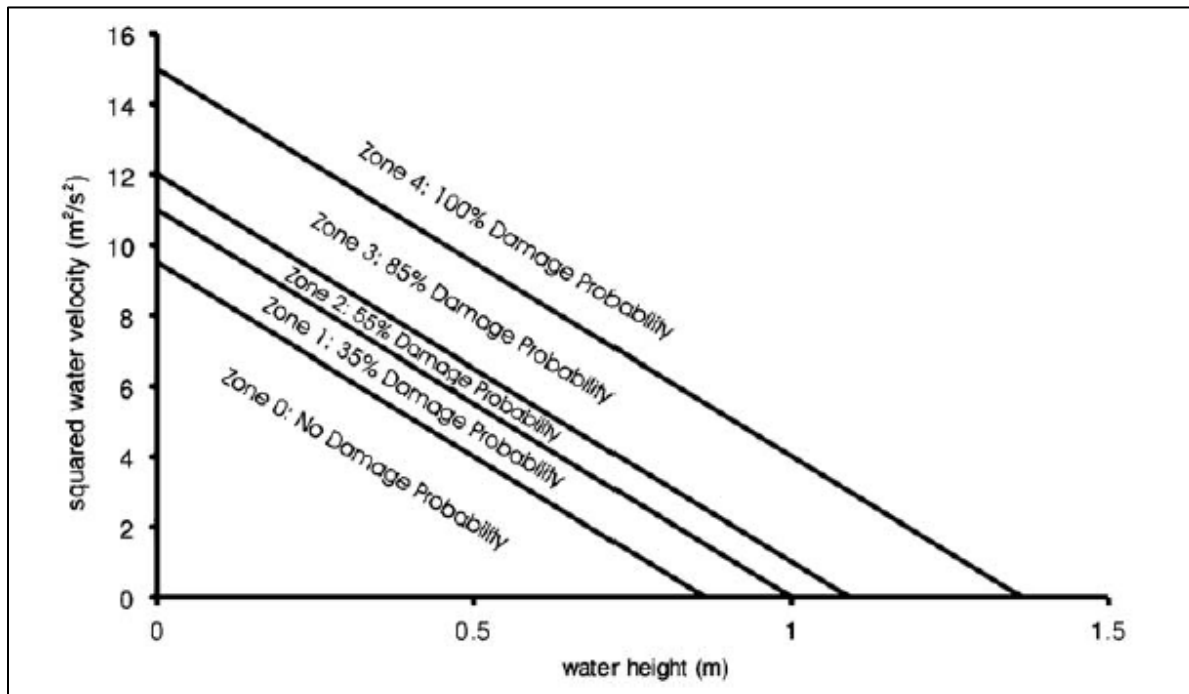


Figure 2. 2 : Estimation de la probabilité des dommages aux équipements en fonction de la hauteur maximale de l'inondation et du carrée de la vitesse de la montée de l'eau (tiré de Antonioni et al., 2009)

Suivant une autre étude de Campedel et al. (2009), la revue de 170 accidents enregistrés ont démontré que plus de 50% des accidents Natech résultaient en une contamination de l'eau, 16% formaient des bassins de contamination, 15% engendraient un feu, 5% créaient des explosions et 7% occasionnaient une dispersion de la contamination. Les substances les plus impliquées dans ces sinistres étaient les huiles, le gaz diesel et la gazoline suivie de loin par le propane, butane et gaz de pétrole liquéfié. Le tableau 2.2 énumère en ordre décroissant les substances rejetées lors des incidents Natech étudiés.

De plus, certaines installations des industries contenant des contaminants sont plus vulnérables aux inondations. Les études des accidents industriels passés révèlent que les réservoirs de substances dangereuses hors terre sont les équipements les plus endommagés lors des incidents Natech. On retrouve également en ordre respectif de vulnérabilité les tuyaux à grand diamètre et les récipients sous pressions. (Antonioni et al., 2009; Campedel et al., 2009)

Tableau 2. 2 : Principales substances impliquées dans des incidents Natech déclenchés par des inondations et dangers de ces substances pour l'environnement (tiré de Campedel et al., 2009)

#	Catégories	Dangers	Nombres d'accidents enregistrés
1	Huile, gaz diesel et gazoline	Extrêmement inflammable et dangereux pour l'environnement	143
2	Propane, butane et gaz de pétrole liquéfié	Extrêmement inflammable et dangereux pour l'environnement	12
3	Fertilisants	Toxique et dangereux pour l'environnement	11
4	Hydrocarbure liquide	Extrêmement inflammable et dangereux pour l'environnement	8
5	Liquide aromatique	Extrêmement inflammable et dangereux pour l'environnement	8
6	Produits acides	Toxique et dangereux pour l'environnement	7
7	Cyanides	Toxique et dangereux pour l'environnement	5
8	Oxides	Explosif avec ou sans contact avec l'air et réagit violemment avec l'eau	5
9	Ammonium	Toxique et dangereux pour l'environnement	5
10	Chlorine	Toxique et dangereux pour l'environnement	3
11	Explosifs	Réagis violemment avec l'eau	3
12	Carbure de calcium	Le contact avec l'eau libère des gaz extrêmement inflammables	3
13	Savons et détergents	Dangereux pour l'environnement	1

2.1.3 Situation au Québec

Le Québec est loin d'être en sûreté face à l'accroissement du nombre d'incidents Natech induit par les inondations. Comme mentionné précédemment, la province possède un large réseau hydrographique et les villes et les industries se sont développés à proximité des cours d'eau. De plus, des entreprises à risque de posséder des substances toxiques et dangereuses sont présentes sur le territoire comme démontré aux sections 2.1.1 et 2.1.2. En effet, selon le rapport *Portrait des activités de stockage et de transport liées aux matières dangereuses* (Alvarez, Leroux, De Marcellis-Warin, Peignier et Trépanier, 2008), il existe 759

installations de stockage de matières dangereuses au Québec dont environ 193 sont des installations agricoles (~25%). Les dix substances ayant été le plus déclarées en vertu du règlement sur les urgences environnementales sont indiquées en ordre décroissant dans le tableau 2.2. Elles constituent un exemple révélateur des substances dangereuses les plus stockées au Québec et par conséquent les substances qui comportent un plus grand potentiel d'implication dans des incidents Natech. Le tableau 2.2 n'est pas représentatif des quantités entreposées, mais seulement du nombre d'entreprises qui possèdent la substance en quantité assez grande pour être sujettes à un avis au gouvernement.

Tableau 2. 3 : Les 10 substances dangereuses les plus déclarées en 2007 en vertu du règlement sur les urgences environnementales (tiré de Alvarez et al., 2008)

#	Matières	Pourcentage
1	Propane	59
2	Chlore (concentration 10% ou plus)	17
3	Ammoniaque (concentration 10% ou plus)	6
4	Essence	6
5	Acide chlorhydrique (concentration de 30% ou plus)	4
6	Dioxyde de soufre (concentration 10% ou plus)	4
7	Butane	2
8	n-pentane (pentane)	1
9	Isobutane	1
10	Isopentane	0,5

Les figures A.2 et A.3 illustrées à l'annexe 2 démontrent que les industries qui stockent des matières dangereuses se retrouvent majoritairement à proximité d'un cours ou plan d'eau au Québec (Alvarez et al., 2008). Le Québec n'est pas un territoire où les tsunamis sont probables puisque la province ne se situe pas à proximité des limites de plaques tectoniques et il ne s'y produit donc pas des tremblements de terre de grande magnitude. Cependant, les inondations d'intensité faible et moyenne sont possibles et se produisent une à plusieurs fois par an.

2.2 Rejet en provenance des réseaux d'égouts

Les réseaux d'égouts des villes ont une relation bidirectionnelle de cause à effets avec les inondations. Effectivement, une inondation naturelle peut créer un refoulement du réseau d'égouts qui, lui, va augmenter le niveau d'eau accumulé au sol. D'autre part, une inondation urbaine peut également être occasionnée par un problème de drainage au niveau du réseau d'égouts local. Le type de canalisation utilisé dans les installations publiques devient alors un facteur important dans le contrôle des inondations, plus particulièrement dans les grandes villes où le débit d'eaux usées à canaliser est plus élevé. Lorsque le réseau d'égouts est touché par une inondation et qu'à cause d'une surcharge de la capacité du système son contenu se rejette sans traitement dans l'environnement, une contamination de l'eau par des polluants et des maladies s'en suit. Ces éléments sont expliqués plus en détail dans les sections 2.2.1 et 2.2.2 et les relations entre les types de réseaux d'égouts et les polluants y sont indiqués.

2.2.1 Type de réseaux d'égouts municipaux

Historiquement, la canalisation des eaux usées dans les villes a grandement aidé à l'évolution de la qualité de vie des hommes. Elle a notamment permis la diminution de l'éclosion d'épidémies de maladies dues à l'insalubrité. À l'origine, les systèmes de captage étaient acheminés directement dans le milieu récepteur et ne subissaient aucun traitement préalable. Les préoccupations environnementales étaient moins grandes et le but premier n'était pas l'assainissement, mais l'évacuation rapide des eaux usées en territoire urbain. Les eaux de pluie étaient également recueillies dans ces mêmes égouts afin d'éviter l'accumulation de l'eau de pluie dans les villes. (Fortier, 2013; Madoux-Humery, 2015; Nantel, 2012; Osseyrane, 2014)

Désormais, 76% de la population canadienne est connectée à un réseau d'égouts et la majorité des systèmes d'égouts sanitaires au Québec comporte un système de traitement des eaux usées afin de diminuer les impacts nocifs sur l'environnement et la population. La conception des réseaux d'égouts a également évolué et on retrouve de nos jours un amalgame de canalisations dans les villes qui combinent des réseaux conçus sous les anciennes idéologies ainsi que d'autres sous les nouvelles. Malgré les efforts d'assainissements des eaux usées entamés avec l'incorporation des usines de traitements, des épisodes de rejets d'eaux usées non traitées se produisent encore fréquemment dans les milieux naturels. Les réseaux d'égouts ont une capacité maximale et lorsque celle-ci est dépassée, des surverses se produisent. Les quantités en surplus sont évacuées par des exutoires de surverses intégrés aux réseaux afin de prévenir l'endommagement de l'équipement dû à la surcharge des canalisations et de l'usine de traitements. Une surverse se définit comme un rejet des eaux d'égouts sans traitement dans un plan ou un cours d'eau lors de l'atteinte de la capacité en volume du système d'assainissement. Chaque déversement des eaux usées est comptabilisé sur une période de 24h et il peut donc n'avoir qu'une surverse par journée. Cependant, si une surverse dure de 22h à 2h, deux déversements seront notés. Les dérivations, quant à elles, se décrivent comme le rejet d'eaux usées

partiellement traitées. La différence entre ces deux types de rejets ne sera pas faite dans ce rapport. (Hicks, 2014; Madoux-Humery, 2015; MAMOT, 2014; MDDELCC, 2018b; Nantel, 2012; Osseyrane, 2014)

Le type de réseaux d'égouts influence la nature et la quantité des contaminants qui seront rejetées lors des débordements ainsi que la probabilité d'occurrence des inondations urbaines. Il existe quatre catégories de canalisations des eaux usées : le réseau d'égouts unitaire ou combiné, le réseau d'égouts semi-séparatif, le réseau d'égouts sanitaire et le réseau d'égouts pluvial. Les deux dernières variétés peuvent également être nommées réseau séparatif. (Harrison, 2007; MDDELCC, 2017b) Les caractéristiques de ces installations sont décrites dans les paragraphes suivants.

En premier lieu, les réseaux d'égouts unitaires recueillent à la fois les eaux sanitaires domestiques, industrielles, commerciales ainsi que les eaux pluviales. Il s'agit des premiers types de canalisation ayant été construits et ils forment ainsi les systèmes d'égouts de la majorité des vieilles villes. Ces installations font en sorte de diluer le contenu des eaux sanitaires par de l'eau soi-disant plus propre (eaux de pluie, eaux de ruissellement). L'occurrence des surverses de ces systèmes est fortement tributaire des conditions météorologiques puisque les pluies intenses, la fonte des neiges et les crues sont des facteurs de surcharge des équipements. La figure 2.3 illustre la conception des égouts unitaires ainsi que les épisodes de surverses. Le fait que les canalisations soient reliées à la surface pour permettre l'entrée des eaux de pluie mène à un rejet des eaux sanitaires dans les villes lors des inondations. L'utilisation de clapets permet d'éviter les refoulements des égouts dans les maisons et dans les rues de la ville comme illustrée à la figure 2.4. Cet instrument crée une différence de charge hydraulique dans les tuyaux d'acheminement et il empêche l'eau de revenir dans le réseau (l'eau se déplace toujours d'une haute charge vers une plus basse charge). (Directive 004; Harrison, 2007; Madoux-Humery, 2015; Nantel 2012)

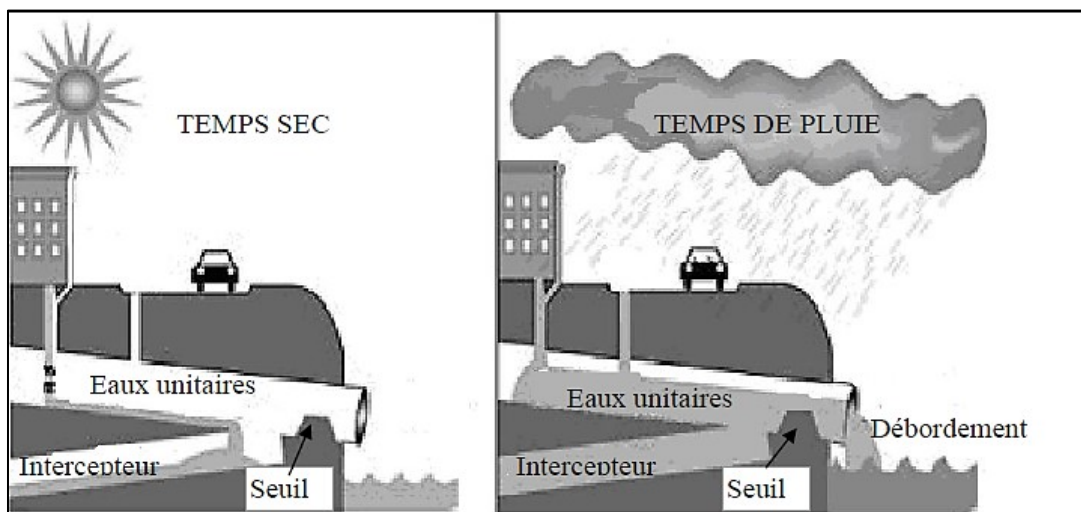


Figure 2. 3 : Illustration des surverses des réseaux d'égouts unitaires (tiré de Nantel, 2012)

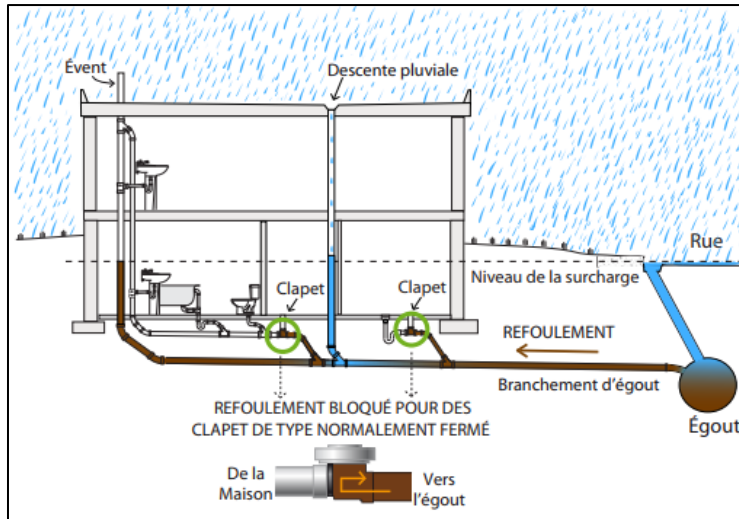


Figure 2. 4 : Illustration du fonctionnement d'un clapet antiretour lors des crues ou inondations (tiré de Ville de Montréal, 2014)

En deuxième lieu, un réseau d'égouts semi-séparatif est une installation qui recueille les eaux usées sanitaires domestiques, industrielles et commerciales ainsi que les eaux de pluie en provenance des drains de fondations et des drains de toit. Les eaux pluviales en provenance de rues ont ainsi été déconnectées du réseau. La figure 2.5 montre la différence entre le réseau d'égouts unitaire et le réseau d'égouts semi-séparatif. Ce système est moins vulnérable aux conditions climatiques que le système unitaire puisqu'une moins grande quantité d'eau pluviale s'insère dans les canalisations. Les surverses dépendent alors davantage du débit de pointe entrant dans le réseau. De plus, les polluants en provenance des rues ne sont pas intégrés aux eaux sanitaires. Les coûts de débranchement des drains de fondation et du toit sont dispendieux et c'est pourquoi une séparation totale des conduites unitaires en conduites sanitaires et pluviales est souvent impossible pour les municipalités ou les citoyens. (*Directive 004*; Harrison, 2007; Nantel 2012)

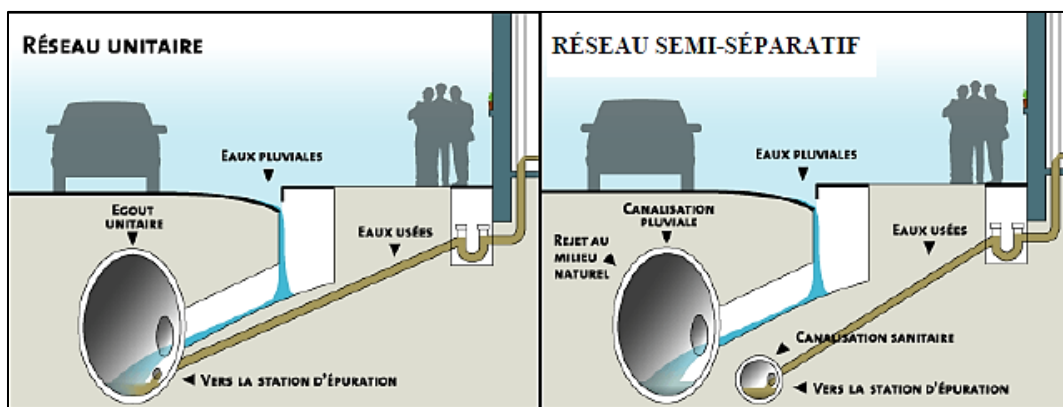


Figure 2. 5 : Comparaison entre les réseaux d'égouts unitaires et semi-séparatifs (tiré de Nantel, 2012)

En troisième lieu, les réseaux d'égouts sanitaires recueillent les eaux sanitaires de provenance domestiques, industrielles et commerciales. Les débordements de ces types de canalisations sont fonction uniquement des débits de pointes. Le climat ne devrait pas contribuer à la surcharge de ce type d'installations puisqu'il n'est pas connecté à la surface. (*Directive 004*; Harrison, 2007; Nantel 2012)

En quatrième lieu, les réseaux d'égouts pluviaux collectent les eaux de ruissellement du territoire qu'ils couvrent. Au Québec, contrairement aux autres types d'égouts, ceux-ci n'acheminent pas les eaux vers une station d'épuration, mais directement dans un plan ou un cours d'eau. Un mauvais entretien des puisards des réseaux d'égouts peut également occasionner des submersions de la chaussée par mauvais drainage et obstruction des entrées d'eau. (*Directive 004*; Harrison, 2007; Institut de prévention des sinistres catastrophiques, s.d.; Nantel 2012) Le tableau 2.4 résume l'origine de l'eau récupérée dans les différents types de réseaux d'égouts.

Tableau 2. 4 : Eaux récupérées par les collecteurs d'égouts

Types de réseaux	Provenances des contaminants
Sanitaire	Rejets sanitaires de provenance domestique, industrielle et commerciale
Pluvial	Eaux de ruissellement des routes, des toits de maison et des terrains
Unitaire	Récupération des eaux sanitaires de provenance domestique, industrielle et commerciale et des eaux de ruissellement des routes, des toits et des terrains.
Semi-séparatif	Récupération des eaux sanitaires de provenance domestique, industrielle et commerciale et des eaux de ruissellement des toits de maison

En plus du type de réseau d'égouts, l'état des tuyaux qui le constitue influence également la vulnérabilité aux débordements. Effectivement, un réseau en mauvais état ou désuet comporte des infiltrations d'eaux parasites qui peuvent engorger les canalisations et diminuer la capacité théorique des installations. Des raccords illicites au système peuvent également être effectués par des particuliers ou des industries. Il est donc important d'entretenir les conduites pour maximiser leur durée de vie et vérifier les installations. Les réseaux d'égouts unitaires datent au minimum des années 1950 au Canada. Ils sont donc sujets à l'infiltration des eaux parasites par des fentes de vieillissement. (Harrison, 2007; Nantel, 2012; Service de l'eau de la ville de Montréal, 2015)

2.2.2 Conséquences en cas de débordements

Les réseaux d'égouts sont porteurs de plusieurs polluants et contaminants. Dans la littérature en lien avec les catastrophes naturelles, il est possible de constater que les inondations ont souvent causé des épidémies ainsi que la contamination de l'eau potable. Les pays en voie de développement comptent plusieurs décès liés à la contamination des eaux et ils sont plus vulnérables à ces catastrophes que les pays d'Amérique du Nord. Cependant, ces derniers ne sont pas non plus protégés des dangers puisque plusieurs contaminations de l'eau potable causées par des inondations ont pu être détectées dans les bases de données des catastrophes naturelles. (Madoux-Humery, 2015; Pongmala, 2012)

Le type et le degré de la contamination de l'eau engendrée lors des surverses ou des refoulements d'égouts dépendent en grande partie de la nature des canalisations en cause (provenance des eaux récupérées), de la durée entre deux événements de débordement et de l'occupation du sol (densité de population et activités retrouvées sur le territoire). Plusieurs études ont été publiées pour caractériser plus précisément les contaminants retrouvés dans les surverses des réseaux d'égouts. Même si la composition de la contamination retrouvée dans les canalisations dépend des activités exercées sur le territoire qui est typique à chaque ville, certaines tendances peuvent être observées selon le type de réseau d'égouts.

Premièrement, les réseaux d'égouts unitaires et semi-séparatifs sont les types de réseaux qui peuvent comporter le plus de diversité dans la contamination. De plus, leurs rejets sont souvent considérés comme les plus dangereux pour l'environnement en comparaison avec les autres systèmes de canalisations puisqu'ils sont plus vulnérables aux débordements et contiennent des eaux sanitaires. Celles-ci y sont diluées dans les eaux de ruissellement ce qui fait que la concentration en polluants du rejet dépend de l'apport en eaux pluviales dans le réseau et donc de l'intensité de la précipitation. De plus, des dépôts de substances hétérogènes et parfois nuisibles à la santé de l'environnement se déposent au fond des canalisations et se voient remettre en suspension lors des événements de débordement. Ce phénomène entraîne un premier rejet plus concentré en substances dommageables que les suivants. Cet épisode bien documenté dans la littérature se nomme « first flush ». Les contaminants qui se retrouvent dans les réseaux d'égouts unitaires et qui sont libérés lors des inondations sont listés dans le tableau 2.5 en plus des dommages qu'ils causent sur le milieu récepteur. Ce type de réseau est le plus surveillé en termes d'impacts sur l'environnement lors des inondations.

Deuxièmement, le réseau d'égouts pluvial a souvent été considéré comme un système qui libère de l'eau propre. Cependant, l'urbanisation et l'industrialisation ont fait en sorte que le sol est désormais porteur de plusieurs contaminants dangereux de sources diffuses et ceux-ci sont transportés dans les lacs et cours d'eau par l'entremise des réseaux d'égouts pluviaux.

Tableau 2. 5 : Impacts des contaminants issus des débordements de réseaux d’égouts unitaires sur le milieu récepteur (Compilation de Badin et al. ,2013; Bilotta, 2008; Boudreau et al., 2015; Duco et Gouzy, 2008; Fondriest Environmental Inc., 2014; Madoux-Humery, 2015; MDDELCC, 2014; Olivier, 2015; Pongmala, 2012)

Catégories de polluant		Sources de la contamination	Exemples de contaminants	Aspects environnementaux	Impact sur le milieu récepteur
Chimique	Métaux lourds	Industries, systèmes routiers	Cadmium, cuivre, plomb, zinc, chrome	Toxicité et bioaccumulation dans la chaîne alimentaire	Nuisance pour la vie aquatique et terrestre, maladies chez les organismes de haut niveau trophique, pollution de l’eau potable
	Composés chimiques toxiques	Industries, agriculture	NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , Cl ₂	Toxicité	Nuisance pour la vie aquatique et terrestre, pollution des eaux potables
	Composés organiques toxiques	Industries, systèmes routiers	HAP (chrysène, Benzo(a)pyrène,fluoranthène), HA, COV (chloroforme)	Toxicité, bioaccumulation dans la chaîne alimentaire	Nuisance pour la vie aquatique et terrestre, maladies chez les organismes de haut niveau trophique
	Contaminants microbiologiques	Eaux sanitaires	Coliformes fécaux, bactéries (E.coli), protozoaires (cryptosporidium, giardia), virus (entérite, coliphage), parasites	Contamination microbiologique et éclosion d’épidémies	Éclosion d’épidémies
	Produits pharmaceutiques et de soins personnels	Rejet sanitaire des hôpitaux, des industries, des commerces et des domiciles	Caféine, carbamazépine, acétaminophène, insecticides, pesticides	Substances possiblement écotoxiques ¹	Possible nuisance pour la vie aquatique
	Nutriments	Agriculture, rejet sanitaire, eau de ruissellement	Azote, phosphore	Eutrophisation	Diminution de la biodiversité
	Matières en suspension (MES)	Ruissellement des eaux pluviales	Particule fine, particules remises en suspension dans les canalisations	Augmentation de la turbidité, envasement, colmatage	Diminution de la qualité des eaux, nuisance pour la vie aquatique
	Matières organiques (M.O)	Eau sanitaire et pluviale	DBO, DCO, accumulation de biomasse	Diminution de la concentration en oxygène dissout, possibilité d’hypoxie	Diminution de la biodiversité et mort d’organismes aquatiques
Physique	Augmentation des débits de l’eau	Volume du réseau d’égouts	Ajout de volume d’eau dans les milieux récepteurs avec les débordements	Érosion des berges, remise en suspension de sédiments	Diminution de la qualité des eaux, introduction de contaminants liés aux sédiments
	Augmentation de la température de l’eau	Température des intrants dans le réseau d’égouts et réaction exothermique entre les substances rejetées dans les canalisations	Eaux des débordements possédant une température plus élevée que le milieu récepteur	Modification des dates des brassages thermiques des cours et plans d’eau	Nuisance pour la vie aquatique

¹ Les sources consultées évoquent une possibilité d’écotoxicité pour les substances pharmaceutiques dans les rejets sanitaires, mais mentionnent un manque de connaissance et d’étude sur le sujet pour pouvoir le confirmer

Les terrains agricoles, par exemple, contiennent des insecticides et pesticides. Les routes sont parsemées d'hydrocarbures, de métaux, de résidus d'asphalte, de sels et de particules fines. Les terrains résidentiels peuvent être recouverts de pesticides et d'insecticides et les activités sur les terrains industriels peuvent occasionner la libération accidentelle de substances sur le sol. La littérature indique également que des bâtiments auraient été mal construits et ils possèderaient des raccordements dits inversés qui achemineraient les eaux sanitaires dans le réseau d'égouts pluvial. Ces situations qui ont été rencontrées dans la ville de Québec sont cependant rares. La réglementation a un rôle important à jouer dans la composition des eaux pluviales. L'interdiction d'utilisation de certaines substances sur les terrains permet de limiter la pollution par le ruissellement. La limitation de constructions routières permet également de diminuer l'apport en métaux, hydrocarbures, particules fines et sels dans le système d'égouts pluvial des municipalités. Cependant, puisque cette pollution est présente antérieurement à l'inondation sur le sol du territoire et dans les plans et cours d'eau, l'impact de ce type de réseau lors des submersions de la chaussée est moindre pour l'étude entreprise dans ce rapport. Il s'agit plutôt d'un problème de rétention d'eau de pluie sur place et non un impact dû aux inondations. Seule la migration des contaminants en amont du système d'égouts pluvial est à considérer comme risque associé dans cette étude et c'est davantage l'accumulation du type de contamination qui est dangereuse pour l'environnement à l'exception de la présence des métaux lourds. (Badin et al. ,2013; Madoux-Humery, 2015; Pongmala, 2012)

Troisièmement, pour ce qui est des réseaux d'égouts sanitaires, ils contiennent, comme déjà mentionnés, les rejets sanitaires en provenance des industries, des commerces et des résidences. Certaines industries peuvent rejeter leurs contenus de procédés industriels dans le réseau s'ils respectent certains critères. De plus, des substances précises sont prohibées dans les rejets sanitaires résidentiels et commerciaux. Ceci est expliqué dans la section réglementation 2.4.2. Cependant, quelques établissements ont été surpris à déverser un contenu non réglementaire et toxique pour les écosystèmes. Ces circonstances font en sorte qu'en plus des coliformes fécaux, bactéries, virus, particules fines, nutriments et matières organiques contenues généralement dans un rejet sanitaire, des substances polluantes et toxiques peuvent également s'y retrouver. Les risques de déversement d'un réseau séparatif sanitaire lors d'une inondation sont peu probables en comparaison aux autres réseaux puisque ce dernier n'est pas influencé par les précipitations et n'est pas connecté à la surface. Les risques de surcharge et de refoulement à considérer seraient alors causés par l'inondation de l'usine de traitement ou par la mauvaise conception du réseau pour les débits de pointes. Ce dernier n'est pas lié aux impacts des inondations, mais est plutôt un problème générateur d'inondations en milieux urbains. Les clapets antirefoulement limitent les chances d'un refoulement d'égouts dû à ces deux raisons. Les tableaux 2.6 et 2,7 montrent respectivement les dangers des contaminants des réseaux d'égouts pluviaux et sanitaires. (Harrison, 2007; Madoux-Humery, 2015; Nantel 2012; Pongmala, 2012)

Tableau 2. 6 : Impacts des contaminants les plus fréquents issus des débordements de réseaux d’égouts pluviaux sur le milieu récepteur (Compilation de Badin et al. ,2013; Bilotta, 2008; Boudreau et al., 2015; Duco et Gouzy, 2008; Fondriest Environmental Inc., 2014; Madoux-Humery, 2015; MDDELCC, 2014; Olivier, 2015; Pongmala, 2012)

Catégories de polluant		Sources de la contamination	Exemples de contaminants	Aspects environnementaux	Impact sur le milieu récepteur
Chimique	Métaux lourds	Industries, systèmes routiers	Cadmium, cuivre, plomb, zinc, chrome	Toxicité et bioaccumulation dans la chaine alimentaire	Nuisance pour la vie aquatique et terrestre, maladies chez les organismes de haut niveau trophique, pollution de l’eau potable
	Composés chimiques toxiques	Industries, agriculture	NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , Cl ₂	Toxicité	Nuisance pour la vie aquatique et terrestre, pollution des eaux potables
	Composés organiques toxiques	Industries, systèmes routiers	HAP (chrysène, Benzo(a)pyrène,fluoranthène), HA, COV (chloroforme)	Toxicité, bioaccumulation dans la chaine alimentaire	Nuisance pour la vie aquatique et terrestre, maladies chez les organismes de haut niveau trophique
	Contaminants microbiologiques	Urine et déjection animale	Coliformes fécaux, bactéries (E.coli), protozoaires (cryptosporidium, giardia), virus (entérite, coliphage), parasites	Contamination microbiologique et éclosion d’épidémies	Éclosion d’épidémies
	Nutriments	Agriculture	Azote, phosphore	Eutrophisation	Diminution de la biodiversité
	Matières en suspension (MES)	Ruissellement des eaux pluviales	Particules fines, particules remises en suspension dans les canalisations	Augmentation de la turbidité, envasement, colmatage	Diminution de la qualité des eaux, nuisance pour la vie aquatique
Physique	Augmentation des débits de l’eau	Volume du réseau d’égouts	Ajout de volume d’eau dans les milieux récepteurs avec les débordements	Érosion des berges, remise en suspension de sédiments	Diminution de la qualité des eaux, introduction de contaminants liés aux sédiments

Tableau 2. 7 : Impacts des contaminants les plus fréquents issus du refoulement de réseaux d’égouts sanitaires sur le milieu récepteur (Compilation de Badin et al. ,2013; Bilotta, 2008; Boudreau et al., 2015; Duco et Gouzy, 2008; Fondriest Environmental Inc., 2014; Madoux-Humery, 2015; MDDELCC, 2014; Olivier, 2015; Pongmala, 2012)

Catégories de polluant	Sources de la contamination	Exemples de contaminants	Aspects environnementaux	Impact sur le milieu récepteur
Composés chimiques toxiques	Eau sanitaire des industries	Rejet NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , Cl ₂	Toxicité	Nuisance pour la vie aquatique et terrestre, pollution des eaux potables
Composés organiques toxiques	Eau sanitaire des industries	HAP (chrysène, Benzo(a)pyrène,fluoranthène), HA, COV (chloroforme)	Toxicité, bioaccumulation dans la chaine alimentaire	Nuisance pour la vie aquatique et terrestre, maladies chez les organismes de haut niveau trophique
Contaminants microbiologiques	Eaux sanitaires des salles de bain (résidences, commerces, industries)	Coliformes fécaux, bactéries (E.coli), protozoaires (cryptosporidium, giardia), virus (entérite, coliphage), parasites	Contamination microbiologique et éclosion d’épidémies	Éclosion d’épidémies
Produits pharmaceutiques et de soins personnels	Rejet sanitaire des hôpitaux, des industries, des commerces et de domiciles	Caféine, carbamazépine, acétaminophène, insecticides, pesticides	Substances possiblement écotoxiques ¹	Possible nuisance pour la vie aquatique
Nutriments	Nourriture dans les toilettes, défécions	Azote, phosphore	Eutrophisation	Diminution de la biodiversité
Matières organiques (M.O)	Nourriture dans les toilettes, défécions	DBO, DCO, accumulation de biomasse	Diminution de la concentration en oxygène dissout, possibilité d’hypoxie	Diminution de la biodiversité et mort d’organismes aquatiques

¹ Les sources consultées évoquent une possibilité d’écotoxicité pour les substances pharmaceutiques dans les rejets sanitaires, mais mentionnent un manque de connaissance et d’étude sur le sujet pour pouvoir le confirmer

Finalement, la figure 2.6 démontre bien l'impact des surverses sur la qualité de l'eau à Montréal. Les localisations notées d'un point rouge signifient que l'eau y est de mauvaise qualité. Il est intéressant de faire la corrélation entre l'emplacement des exutoires de surverse et la position des points rouges. Ils se situent tous à proximité les uns des autres. Les eaux de surface sont plus vulnérables aux surverses puisque les eaux souterraines ont l'avantage d'être couvertes d'un filtrant naturel soit le sol. Cette caractéristique diminue la quantité de polluants qui peut s'infiltrer dans les sources d'eau souterraine.

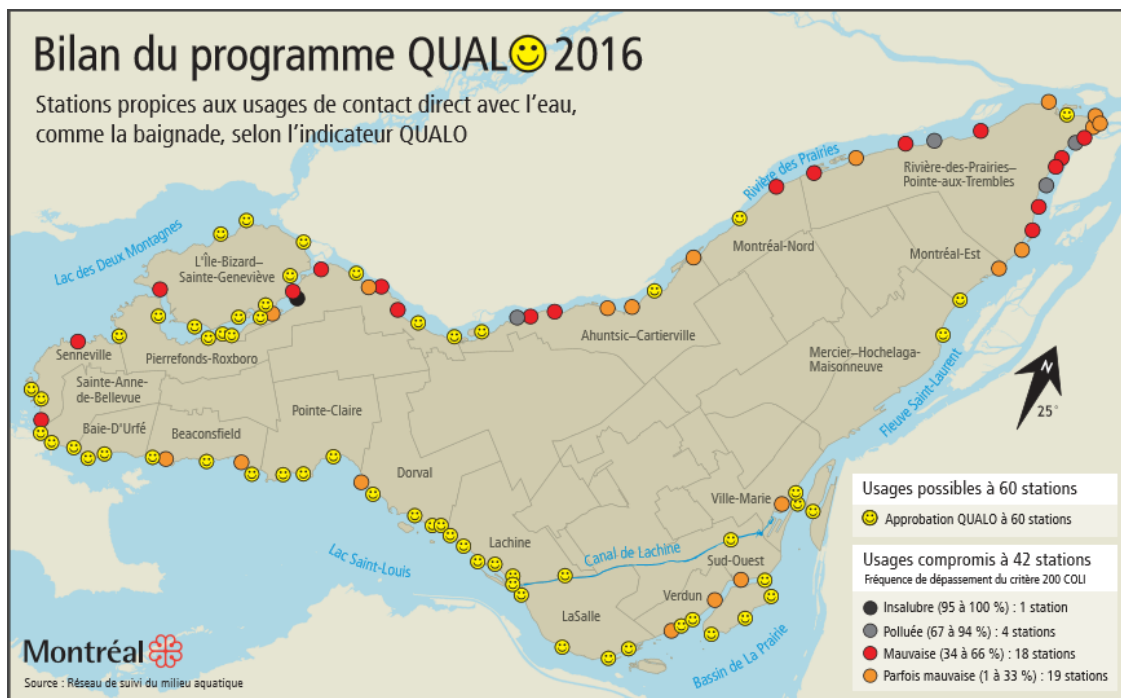


Figure 2. 6 : Qualité de l'eau autour de l'île de Montréal (tiré de Ville de Montréal, s.d.)

2.2.3 Situation au Québec

Au Québec, l'installation de systèmes d'égouts de type unitaire ou semi-séparatif est interdite depuis les années 1964. Les nouveaux développements doivent être munis de réseaux d'égouts séparatifs et, de nos jours, de plus en plus de municipalités intègrent des méthodes de bonnes gestions des eaux pluviales dans leurs outils d'aménagements du territoire. Cependant, puisque les grandes villes de la province et les plus peuplés ont été construites avant les années 1964, elles comportent toutes une portion de leur territoire desservi par les systèmes unitaires et semi-séparatifs. (Harrison, 2007; Madoux-Humery, 2015; Nantel 2012; Pongmala, 2012) C'est pourquoi on dénote encore un haut taux de surverse dans la province.

Afin de diminuer l'impact de ces déversements, le gouvernement a mis en place des normes de rejets des systèmes d'assainissement des eaux usées municipales ainsi qu'un nombre limité de surverses autorisées (voir Stratégie pancanadienne pour la gestion des effluents d'égouts municipaux section 2.4.2 et le *Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées [Q-2, r. 34.1]*). La Politique

nationale de l'eau visait une éradication des débordements par temps sec pour l'année 2007. Cependant, cet objectif n'a pas été rempli pour plusieurs de municipalités encore en 2018. (Gouvernement du Québec, 2011; MDDELCC, 2018a). Le tableau 2.8, tirée du rapport d'Évaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2013 (MAMOT, 2014), indique le nombre d'ouvrages de surverses existant pour des stations d'assainissement de diverse capacité.

Tableau 2. 8 : Nombre d'ouvrages de surverses en fonction de la capacité de conception des stations d'assainissement des eaux usées au Québec pour l'année 2013 (tiré de MAMOT, 2014)

Capacité (m ³ /d)	Nombre de stations	Nombre d'ouvrage de surverses	Nombre d'ouvrage de surverses par station
<100	88	63	1 (Min : 0, Max : 5)
100 à 500	273	442	2 (Min : 0, Max : 8)
500 à 2500	247	816	3 (Min : 0, Max : 16)
2500 avec débit industriel	28	89	3 (Min : 0, Max : 10)
2500 à 17500	132	1233	9 (Min : 0, Max : 31)
17500 à 50000	30	788	26 (Min : 6, Max : 90)
50000 à 100000	7	378	54 (Min : 24, Max : 100)
>100000	6	648	108 (Min : 77, Max : 155)
	Total : 811	Total : 4457	Moyenne : 5,5

On compte ainsi un total de 4457 ouvrages de surverses au Québec raccordés à 706 stations d'assainissement d'eaux usées. Un total de 105 stations ne comporte pas d'ouvrage de surverses. On peut constater que le nombre d'ouvrages de surverses est fonction de la capacité de la station et que plus celle-ci est grande, plus le nombre d'exutoires de déversements est élevé. La majorité des stations comportent moins de 25 ouvrages de surverses ainsi qu'une moyenne de 5 raccordée à leur réseau. Le tableau 2.9 indique le nombre d'ouvrages de surverses en fonction du type de station d'assainissements. (MAMOT, 2014)

Il est possible de remarquer dans ce dernier tableau que les types de stations qui comportent le plus d'exutoires pour les déversements sont les stations par biofiltration ainsi que les stations par assainissement physico-chimique. Selon les données fournies dans ce même rapport, les stations et leurs réseaux d'égouts ont une moyenne d'âge de 16.8 ans en 2013 au Québec. Cette caractéristique signifie que plus de la moitié devront faire l'objet de réfections dans les années à venir. (MAMOT, 2014)

Ensuite, 45 512 débordements d'eaux usées ont été enregistrés au Québec en 2013. Ce nombre est sans compter les erreurs de comptabilisation pouvant provenir des stations non munies d'un enregistreur

automatisé. En effet, environ 48% des stations évaluées pour les surverses ne comportaient pas d'enregistreur en 2013 et les surverses étaient étudiées à l'aide d'un contenant repère qu'il fallait remplacer manuellement pour visualiser la venue d'un autre débordement. La vérification se fait généralement une fois par semaine par un employé de la ville. (Madoux-Humery, 2015; MAMOT, 2014; MDDELCC, 2018c)

Tableau 2. 9 : Nombre d'ouvrages de surverses en fonction du type de station d'assainissement des eaux usées au Québec pour l'année 2013 (adapté de MAMOT, 2014)

Types de stations d'assainissement	Nombre de stations	Nombre d'ouvrages totaux de surverses	Nombre approximatif d'ouvrages de surverses par station
Boues activées	49	694	14
Disques biologiques	25	39	2
Biofiltration	8	377	47
Dégrillage fin	25	104	4
Étangs aérés	540	2417	4
Étangs à rétention réduite	50	146	3
Étangs non aérés	43	28	1
Divers	58	52	1
Physico-chimique	13	600	46

Le tableau 2.10 mentionne le pourcentage de stations qui ne sont pas conformes aux exigences du MAMOT pour les rejets d'eaux usées en 2013. Ce taux de réussite semble élevé, mais le fait que les exigences sont construites relativement aux conditions caractéristiques à chaque réseau d'égouts ne signifie pas que ces derniers ont une bonne performance. En effet, pour un réseau unitaire, le MAMOT interdit uniquement les rejets par temps sec. Il autorise ainsi les déversements par temps de pluies, de fonte de neige et d'urgence. (MAMOT, 2014)

Tableau 2. 10 : Respect de l'exigence de rejets d'eaux usées des stations d'épuration pour les années 2011 à 2013 (tiré de MAMOT, 2014)

Pourcentage de réussite	2011	2012	2013
100%	67%	72%	71%
≥85%	80%	85%	83%
< 85%	20%	15%	17%

Le tableau 2.11 présente la répartition des rejets des surverses de 2013. Les « urgences » correspondent à des bris de matériaux du réseau, à des bris mécaniques, à des pannes électriques et à des débordements dus

à l'entretien du réseau. Parfois, les catastrophes naturelles comme les pluies diluviennes sont classées dans la catégorie urgence. La catégorie « autres », quant à elle, est constituée des erreurs humaines, des obstructions occasionnelles du réseau et des sources indéterminées de débordements. Il est possible de constater, dans les données cumulées, que les causes de pluie sont les plus fréquentes, suivies par la fonte de la neige et de la glace. (MAMOT, 2014)

Tableau 2. 11 : Répartition des débordements de 2013 (tiré de MAMOT, 2014)

	Pluie	Fonte	Urgence	Temps sec	Autres
Nombre total de débordements	27791	8774	6155	609	2183
Nombre moyen de débordements par ouvrage pour l'ensemble des ouvrages	6,2	2	1,4	0,1	0,5
Pourcentage de l'ensemble des 45 512 débordements	61%	19%	14%	1%	5%

Le *Programme d'ouvrages municipaux d'assainissement des eaux* (OMAE) pour lequel ces dernières données d'évaluation de performances ont été colligées a été remplacé en 2014 par une nouvelle méthode de recensement, soit le *Programme de Suivi d'exploitation des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées* (OMAEU). Ce dernier ne permet plus l'accès aux données des municipalités par le public et une demande d'accès à l'information au Gouvernement doit désormais être effectuée pour obtenir les résultats de performance. Aucun rapport n'a encore été publié pour les années 2014 à 2018. Par conséquent, les performances des dernières années n'ont pas pu être incluses dans cet essai. (MAMOT, 2014; MDDELCC 2018d; Shields, 2017, 22 mars)

Finalement, pour diminuer les débordements dus à l'augmentation des précipitations intenses, le gouvernement a modifié son Manuel de calcul et de conception des ouvrages municipaux de gestion des eaux pluviales (2017d) en 2017. Il a ajouté un facteur de risque pour les changements climatiques de 18% à appliquer sur le volume de précipitations auquel les infrastructures devront faire face. Ceci fait en sorte que les nouvelles constructions seront constituées de conduites d'égouts pluviales qui ont une plus grande capacité que les constructions séparatives actuelles et cela va diminuer les inondations causées par un mauvais drainage. Dans les zones résidentielles, la *Directive 004* indique que la bonne pratique est de considérer une période de récurrence des pluies entre 2 et 15 ans. La valeur la plus commune est 5 ans. Pour ce qui est des zones commerciales ou industrielles, une récurrence de 15 à 20 ans est recommandée.

2.3 Sensibilité des milieux

Dans les deux derniers chapitres, l'origine de certains types de contaminations possibles lors des inondations ainsi que leurs impacts ont été expliqués. L'intensité des conséquences encourues sur les habitats n'est cependant pas uniquement fonction de la nature de la contamination, mais également de la sensibilité des milieux récepteurs de la pollution. Ce facteur peut se mesurer par ce que les écologistes nomment la

résilience écologique des écosystèmes. Cette science évalue la capacité d'un écosystème (population, habitats et espèces) à résister aux perturbations et à se restaurer naturellement à la suite d'agressions par des stress extérieurs. En effet, certains milieux ont la capacité d'absorber une quantité de pollution avant de subir des dommages alors que d'autres ressentent un effet néfaste immédiat et irrévocable. Cette science est récente et en plein développement, mais certaines études permettent tout de même de tirer des conclusions sur les facteurs qui peuvent contribuer à la résilience d'un milieu récepteur et à l'adaptation de la biocénose à une nouvelle composition chimique de l'environnement. Ces éléments seront énumérés ci-dessous. (Antidote 9 : Correcteur – dictionnaire - guide, 2017; Great Barrier Reef Marine Park Authority [GBRMAPA], 2009; Norpac et l'Institut du Développement Durable et Responsable de l'université catholique de Lille [IDDR], 2011a)

2.3.1 Caractéristiques influençant la résilience d'un écosystème

La résilience écologique d'un écosystème dépend en grande partie des dimensions biotiques, écologiques et abiotiques inhérentes au milieu. Les dimensions biotiques font référence à la biodiversité d'un écosystème et à sa composition en espèces considérées en périls. Les dimensions écologiques renvoient à la santé de l'écosystème soit aux interactions entre les populations et leur milieu. En ce qui a trait aux dimensions abiotiques, elles sont composées de l'état physique du milieu soit son sol, son hydrologie et sa composition chimique. (GBRMAPA, 2009; MAMROT, 2010; K. Marineau, notes de cours ENV 809 Valeur des écosystèmes et leur gestion, Automne 2016; Norpac et IDDR, 2011a)

Premièrement, en ce qui a trait aux dimensions biotiques, il est scientifiquement prouvé qu'un écosystème qui possède une grande biodiversité sera plus apte à affronter une phase d'instabilité et à revenir à un équilibre dynamique normal qu'un écosystème qui possède une biodiversité amoindrie. La biodiversité peut se définir par trois niveaux soit la diversité écosystémique qui correspond à la variété d'écosystèmes, la diversité spécifique qui implique la pluralité d'espèces présente sur le territoire et la diversité génétique qui inclut les variantes dans les gènes d'individus d'une même espèce ou population. (Norpac et IDDR, 2011b) La présence de cette multiplicité dans un milieu augmente les chances d'y retrouver la composante essentielle à la réhabilitation naturelle des milieux ou des spécimens pouvant résister aux aléas de la vie. D'un point de vue théorique, toutes les espèces possèdent une importance égale dans un écosystème puisque chacune assure un rôle spécifique à la perpétuité de ce dernier (chaîne alimentaire, interaction intra et interspécifique, flux de matières et d'énergie, etc.). Cependant, dans la réalité, certaines espèces sont moins résilientes que d'autres et nécessitent une protection particulière afin de conserver la santé du milieu. Les milieux qui comportent des habitats associés à ces populations affaiblies sont plus sensibles à la pollution des inondations et risquent de subir de plus gros impacts qu'un territoire habité par des populations saines. (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs [MFFP]; 2018a; Norpac et IDDR, 2011c)

Deuxièmement, pour ce qui est de la dimension écologique, un écosystème en santé sera plus disposé à absorber de la contamination des inondations sans subir de dommages irréparables. Les municipalités ont autorisé la destruction de plusieurs habitats avec l'urbanisation et cette modification du territoire continue d'exercer des pressions sur les milieux naturels. C'est pourquoi l'environnement des villes est plus fragile et possède une moins grande résilience aux perturbations. Ainsi les métropoles sont plus à risque que les petites municipalités. Avant la réforme de la LQE de 2018, plusieurs milieux humides ont été détruits sans compensation pour la construction de projets résidentiels. Ces environnements qui combinent les écosystèmes aquatiques et terrestres sont pourtant une constituante essentielle à la résilience écologique d'un territoire. En effet, ces milieux regorgent d'une biodiversité très variée et agissent comme zone tampon en permettant la purification de la pollution par la phytoremédiation et la décantation des contaminants. De plus, la fragmentation des habitats par la construction de routes ou autres barrières anthropiques diminue les interactions entre les différents écosystèmes. Ceci est, une fois de plus, un facteur lié à l'urbanisation qui diminue la résilience d'un territoire aux inondations. Les espèces sont ainsi confinées dans un milieu sans possibilité d'aller chercher les composantes fondamentales à leur survie ailleurs. Finalement, la protection de zones naturelles à caractère exceptionnel, par exemple des milieux à grande biodiversité ou des milieux qui comportent des espèces rares, est une pratique bénéfique puisqu'elle évite la destruction des habitats de la faune et la flore et assure le maintien de la bonne santé des écosystèmes en question. Cela contribue par le fait même à entretenir une bonne résilience écologique. Il a été déterminé que le seuil critique de la détérioration des écosystèmes s'établit à un pourcentage de présence de couvert végétal naturel de 30%. En dessous de ce niveau, la conservation des espèces peut décliner sous le 80%. Ainsi, les territoires constitués de vaste étendue et d'un pourcentage de plus de 30% d'espaces protégés sont plus résilients aux impacts des inondations. Le couvert végétal ralentit la vitesse de propagation de l'eau et diminue les impacts sur les infrastructures et la population. (Campbell et Reece, 2012; GBRMAPA, 2009; Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs [MFFP]; 2018a ; Trudelle, 2014)

Troisièmement, en ce qui concerne la dimension abiotique, les caractéristiques physico-chimiques d'un sol peuvent influencer la biodisponibilité des contaminants lors du retrait des eaux d'inondation. En effet, certains attributs des sols permettent l'immobilité ou le maintien des contaminants dans les particules par adsorption. La surface spécifique alors en contact avec les organismes est diminuée ainsi que l'absorption de cette pollution par le biote. Les conséquences engendrées sur les écosystèmes sont, dans ces cas, moindres. (Olivier, 2015; Zagury, 2010) Les caractéristiques qui apportent ce pouvoir de rétention sont indiquées dans le tableau 2.12. Bien entendu, il faut être en mesure de bien connaître le comportement du contaminant dans l'environnement, par exemple le K_{henry} , sa biodégradabilité, etc., pour pouvoir bien évaluer l'influence des dimensions abiotiques sur le risque d'impact. Le tableau 2.13 indique certaines propriétés physico-chimiques générales des types de sols. Pour ce qui est de la matière organique (M.O), de la capacité

tampon (β), de l'oxygène et du rapport entre l'azote et le phosphore dans le sol (N/P), ces propriétés sont spécifiques à chaque milieu et ne peuvent pas être déterminées pour un type de sol en particulier. Cependant, les sols argileux et limoneux ont tendance à contenir plus de M.O que les autres types de sols et sont ceux pouvant avoir une capacité tampon élevée. De plus, il ne faut pas perdre de vue que les sols argileux qui sont en contact avec l'eau risquent de produire ce qu'on appelle un effet de bouillasse, la liquéfaction des sols. Ceci est dangereux pour les infrastructures et le transport de contaminants lors d'inondations.

Tableau 2. 12 : Liste des principales caractéristiques physico-chimiques d'un sol qui influencent la biodisponibilité des contaminants (Inspiré de Markelova, 2016; Zagury 2010; Zagury, 2015)

Caractéristiques	Fonction	Explication
M.O	Un sol avec un fort pourcentage en M.O retient davantage les contaminants à charge positive et les métaux. De plus, la présence de M.O est favorable à la dégradation microbienne des contaminants.	La M.O possède une forte CEC ce qui empêche le lessivage des cations. Elle forme également des complexes avec les métaux et elle favorise la dégradation microbienne par la présence des nutriments N et P.
Eh	Le Eh contrôle la spéciation des contaminants dans le sol et la mobilité de ces derniers. Lorsque le sol est saturé en eau (par exemple pendant les inondations), il devient réducteur. Au fur et à mesure que le sol se draine, il devient plus oxydant.	Eh indique si l'environnement du sol est réducteur ($Eh < 0$) ou oxydant ($Eh > 0$). Certainne spéciation de contaminant son plus mobile que d'autre ou plus toxique lorsqu'ils sont sous une forme d'oxydation spécifique (Ex : CrIII est moins toxique que CrVI).
Granulométrie	Un sol fin retient davantage les contaminants qu'un sol grossier. De plus, les sols uniformes rendent les contaminants plus biodisponibles qu'un sol hétérogène à cause de la porosité efficace plus nombreuse.	Un sol fin comporte une surface spécifique élevée en comparaison à un sol à grossier ce qui avantage l'adsorption des contaminants. Un sol hétérogène comporte moins de porosités qu'un sol homogène.
β	Un sol qui comporte une capacité tampon élevée améliore l'immobilité des métaux et autres complexes influencés par le pH.	Le pH d'un sol contrôle la spéciation des métaux. La capacité tampon se définit comme la résistance d'un sol à une modification de pH.
Disponibilité de l'O ₂	La disponibilité d'O ₂ est un bon indicateur de la capacité de dégradation naturelle des contaminants.	La présence d'O ₂ influence la dégradation microbienne (dégradation aérobie et dégradation anaérobie) des contaminants.
Saturation du sol en eau	L'humidité d'un sol est un indicateur de la capacité à la dégradation microbienne des contaminants.	Les microorganismes ont besoin d'un certain apport en eau et nutriments pour proliférer et dégrader les contaminants.
Présence de N et P	La présence de ces nutriments est un indicateur de la capacité du sol à la dégradation microbienne des contaminants.	Les microorganismes ont besoin d'un certain apport en eau et nutriments pour proliférer et dégrader les contaminants.
K	Plus K est grand, plus l'eau s'écoule rapidement dans le sol et emporte des contaminants.	K détermine la vitesse d'écoulement de l'eau dans le sol.

M.O= Matières organiques, CEC= Capacité d'échange cationique, N= Azote, P= Phosphore, Eh= Potentiel rédox, O₂= oxygène, K= Conductibilité hydraulique, β =Capacité tampon

Tableau 2. 13 : Exemple de caractéristiques physico-chimiques des types de sols (Inspiré de Zagury, 2015)

Types de sol	CEC	Eh	Granulométrie	Humidité	K
Gravier	↓↓	Milieu oxydant	Grossière	↓↓	↑↑
Sable	↓↓	Milieu oxydant	moyenne	↓↓	↑↑
Loam (<52 % de sable, 28 à 50 % de limon et de 7 à 27 % d'argile)	↑	Oxydation moyenne	Fine et moyenne (hétérogène)	→	→
Silt	↑	Oxydation moyenne à faible	Fine	↑↑	↓
Argile	↑↑	N/A ¹	Très fine	N/A ²	↓↓

↓↓= très faible, ↓=faible, →= moyen, ↑= fort, ↑↑= très fort, N/A= donnée non disponible

¹Milieu réducteur en présence de matières organiques

²L'humidité des argiles est variable en milieu saturé et non saturé puisque ce type de sol comporte un potentiel de rétention d'eau.

2.3.2 Situation au Québec

Plusieurs indicateurs peuvent être utilisés pour qualifier la résilience écologique des écosystèmes du Québec. Tout d'abord, le Québec est une région où le climat influence grandement la dimension biotique du territoire, c'est-à-dire la répartition des populations animales et végétales. La température agit également sur la dimension écologique des écosystèmes en influençant les lieux d'urbanisation et par le fait même la localisation des perturbations anthropiques sur les écosystèmes québécois. Effectivement, le froid du nord du territoire engendre une plus faible biodiversité, mais également une densité d'habitants infime. Cette particularité fait en sorte que la plus grande pression produite par l'urbanisation se retrouve au sud, où la biodiversité y est également la plus importante due aux températures chaudes et aux roches sédimentaires. (AGÉCO, 2013; Berteaux, 2014; MAMROT, 2010) Cette situation amène un déclin dans les populations des espèces du sud et on retrouve ainsi plus d'espèces menacées ou vulnérables dans cette localisation géographique. Les régions où les dimensions biotiques sont défavorables à la résilience écologique sont localisées dans les milieux où l'on retrouve des espèces vulnérables et/ou en périls. La résilience se voit d'autant plus diminuer si les diversités écosystémique, spécifique et génétique sont touchées. Ainsi, la résilience écologique des écosystèmes du Québec situés dans les environs de la région géologique des Basses-terres du Saint-Laurent est réduite par les perturbations anthropiques contrairement aux autres régions géologiques (Bouclier canadien, Basses-terres de la Baie d'Hudson et Appalaches). (AGÉCO, 2013;

Gouvernement du Canada, 2018a; Gratton, 2015; Lachance, Lavoie et Tardif, 2005; MAMROT, 2010; MFFP, 2006)

Ensuite, paradoxalement à cette réalité d'espèces en déclin au sud de la province, les plus vastes superficies de territoires protégés se retrouvent au nord du Québec. Les régions au nord disposent, certes, d'une moins grande variété d'espèces à cause des climats arides. Cependant, les pressions anthropiques y sont moindres. (AGÉCO, 2013; Gouvernement du Canada, 2018a; Gratton, 2015; Lachance et al., 2005; MAMROT, 2010; MFFP, 2006) Le Québec avait pour objectif d'avoir protégé 12% de son territoire en 2015. Cependant, seulement 9% d'aires protégées avaient été atteints à cette même année. En 2017, le bilan affichait un pourcentage de 9,4% ce qui est une faible augmentation pour une durée de 2 ans, surtout que l'objectif pour 2020 est de 20%. (Gratton, 2015; MDDELCC, 2018e) Les aires protégées sont favorables à la résilience écologique des écosystèmes lors des inondations puisqu'elles permettent la conservation des habitats et des populations en place. Les interactions entre les espèces et leur milieu sont alors moins perturbées par la contamination lors du retrait des eaux. Toutefois, puisque la protection des milieux est peu utilisée et que la province comporte des terrains de conservation publique ainsi que privée, cette solution à l'augmentation de la résilience écosystémique ne semble pas être employée efficacement dans la province. En effet, ce ne sont pas nécessairement les milieux qui nécessitent le plus de protection qui le sont et le gouvernement n'a pas le contrôle absolu sur les terres protégées privées. De plus, certains des lieux qui comportent un titre de conservation sont tout de même perturbés par la présence humaine puisqu'ils sont utilisés comme générateur d'économie pour leurs attraits touristiques.

Plusieurs données disponibles pourraient aider à caractériser la résilience écologique et à la diviser en zone au Québec. Effectivement, le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) a mis disponible une liste d'espèces vulnérables sur son site internet ainsi que la localisation de leur niche écologique. Les espèces vulnérables végétales sont, quant à elles, documentées par le ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques (MDDELCC) et sont également disponibles. Le gouvernement du Canada dispose d'une liste d'espèces dites en péril pour le pays. Quatre niveaux d'espèces à risque y sont indiqués : les espèces disparues, les espèces en voie de disparition, les espèces menacées ainsi que les espèces préoccupantes. Les espèces en voie de disparition sont donc plus vulnérables que les espèces menacées qui sont également plus sensibles que les espèces préoccupantes. De plus, plusieurs autres bases de données sur la biodiversité au Québec ont été créées par les municipalités ainsi que par des organismes sans but lucratif (OSBL). Ces données sont parfois ouvertes au public, privées ou accessibles à la demande et sous la perception de certains frais. (AGÉCO, 2013; Gouvernement du Canada, 2018a; Gratton, 2015; Lachance et al., 2005; MAMROT, 2010; MFFP, 2006) Ces bases de données et informations sur les espèces en déclin sont utiles dans l'étude de la vulnérabilité d'un milieu récepteur

aux inondations. Le rassemblement de toutes ses données associées à leur information géographique permettrait la création d'une carte de la dimension biotique de la résilience écologique des écosystèmes du Québec. Cependant, la centralisation de ses renseignements dans une base de données unique n'existe pas encore pour le moment et le rassemblement des informations constitue parfois un casse-tête. Et pourtant cet outil serait utile non seulement à la gestion des catastrophes naturelles, mais également pour la gestion de projets de construction.

Ensuite, le Québec dispose également de la qualification d'Écosystème forestier exceptionnel pour certains de ses écosystèmes. Cette nomination représente les forêts rares, les forêts anciennes et les forêts refuges qui peuvent contenir des espèces fragiles encore inconnues. Plusieurs caractérisations ont été effectuées jusqu'à ce jour et on retrouve maintenant un registre de 239 territoires classés comme Écosystème forestier exceptionnel. Ces milieux ne sont pas nécessairement protégés puisque le gouvernement n'a pas le contrôle sur les territoires privés. La protection de ces derniers sur les territoires privés se fait de manière volontaire à l'aide de l'influence des organismes environnementaux et la sensibilisation effectuée par le gouvernement. Puisque les écosystèmes forestiers exceptionnels sont composés d'éléments essentiels à la perpétuité d'écosystèmes adjacents tels que les forêts refuges ainsi que d'espèces indigènes rares, un impact sur ces derniers pourrait engendrer des conséquences à grande échelle territoriale. Le bouleversement d'un milieu refuge ou d'un écosystème dont les interactions sont basées sur une espèce rare sera difficilement réparable et c'est pourquoi la présence d'un écosystème forestier caractérisé comme exceptionnel diminue la résilience écologique d'un milieu en cas d'inondation. (MFFP, 2018b) Il serait intéressant dans une perspective de centralisation des données d'intégrer ces écosystèmes à la cartographie. L'impact de la sortie des eaux sur ces écosystèmes engendre cependant des conséquences moins directes sur l'environnement qu'une inondation touchant des espèces en péril et les effets néfastes se présenterait surtout à long terme.

En ce qui a trait aux milieux humides du Québec qui aide également à la résilience des écosystèmes, leurs caractérisations ainsi que leurs cartographies est en cours et effectuées par l'OSBL Canards illimités Canada. Leurs données sont ouvertes au public. Les milieux humides sont également bien protégés sur le territoire de la province puisque la LQE oblige les entrepreneurs à obtenir un certificat d'autorisation avant de construire sur un milieu humide et une compensation est maintenant exigée si la destruction du milieu se produit. Cependant, puisque la localisation et la caractérisation de ces environnements est en cours et non terminé pour l'ensemble des municipalités (les régions plus au nord ne sont pas caractérisées), certains milieux humides sont détruits par ignorance et d'autres subissent encore de grosses pressions anthropiques qui nuisent à leur perpétuité. Plusieurs ont déjà été asséchées pour créer des terrains agricoles. Malgré la présence de certaines municipalités qui trainent dans la protection et la valorisation de ces environnements indispensables, d'autres sont innovatrices et incorporent les services naturels des milieux humides dans la

planification du développement urbain. Par exemple, la ville de Terrebonne a entrepris de caractériser les milieux humides sur son territoire et elle a collaboré à la création d'un écoquartier, Urbanova, dans lequel les milieux humides ont été intégrés au développement. (AGÉCO, 2013; Canards Illimités Canada, 2018; *Loi sur la qualité de l'environnement* ; Talbot, 2013; Urbanova projet immobilier Terrebonne, 2017)

De plus, les pratiques contemporaines d'aménagements du territoire désapprouvent l'étalement urbain. Les grandes métropoles se tournent vers la densification et la revégétalisation à cause des problèmes environnementaux auxquelles elles sont confrontées (pollution de l'air, mauvaise gestion des eaux de pluie, ilots de chaleurs, etc.). Elles sont donc plus sensibilisées aux services que la nature apporte à la population. Cependant, dû aux systèmes de financement des municipalités du Québec qui s'effectue principalement par les taxes foncières, une grande partie des petites villes encourage encore le développement et l'étalement urbain sur leur territoire. Le couvert végétal se voit alors encore diminué et la fragmentation du territoire est de plus en plus étendue au sud de la province. Par contre, il y a des projets en cours de création de couloirs écologique qui permet la connectivité entre différents habitats pour la faune et la flore (exemple : ceinture verte de Montréal et corridor appalachien). (Gratton, 2015; MAMROT, 2010; K. Marineau, notes de cours ENV 809 Valeur des écosystèmes et leur gestion, Automne 2016; F. Mathieu, notes de cours ENV 817 Aménagement de collectivités durables, Hivers 2017; Vivre en Ville, 2014)

Finalement, la cartographie géologique du sol québécois au niveau des dépôts meubles est disponible pour plusieurs régions sur différentes sources internet et les données sont souvent ouvertes comme pour celles de la ville de Montréal. Il est donc possible de déterminer le type de dépôts meubles (gravier, sable, silt ou argile) sous une surface inondée et d'y évaluer globalement l'influence abiotique. Cependant, il serait plus efficace de créer une carte pour les impacts des inondations qui collige ces données et où les sols au facteur abiotique favorable à la résilience écologique des écosystèmes seraient indiqués. Généralement, les sols argileux ont de plus grandes propriétés de rétention des contaminants que les sables et graviers, surtout si le sol contient une grande proportion de M.O. Les silts sont moyennement favorables à l'immobilisation de la pollution. Les sables et graviers sont plus perméables et adsorbent moins de particules. Les régions fortement urbanisées telles que la région de Montréal et de la ville de Québec comportent une grande proportion de sols remaniés et de remblai (gravier, sable). Ces régions sont donc moins favorables à la résilience écologique des écosystèmes en comparaison aux sols naturels qui sont plus compactés.

2.4 Législation

La section 2.4 souligne les lois et règlements en jeu dans la problématique des impacts des inondations. Certaines législations influencent la gestion de ces répercussions et peuvent aider à la création de propositions.

2.4.1 Rejets des industries

Le Canada dispose en premier lieu d'un règlement en matière d'urgence environnementale qui oblige les entreprises à divulguer au gouvernement leurs possessions de certaines substances, dites dangereuses, aux dessus d'une quantité définie. (*Règlement sur les urgences environnementales*, a) Les substances considérées dans ce règlement sont énumérées à l'annexe 1 de celui-ci et elles divergent des substances toxiques de l'annexe 1 de la LCPE. (*Règlement sur les urgences environnementales*, c) Elles comportent des substances susceptibles d'exploser, de s'enflammer, des substances toxiques par inhalation ainsi que d'autres substances toxiques pour les organismes vivants et cancérigènes à court ou long terme. (Gouvernement du Canada, 2017a) La divulgation de possession de ces substances fait en sorte que ce règlement est un bon outil pour répertorier la localisation des substances dangereuses et, aussi, pour s'assurer d'instaurer des moyens de prévention aux urgences environnementales. En effet, l'article 4 de ce règlement stipule que le propriétaire d'une industrie qui utilise une des substances dangereuses de l'annexe 1 du règlement sur les urgences environnementales doit préparer un plan de prévention si son exploitation correspond à certaines normes énoncées. Cependant, la préparation aux potentiels dégâts d'une catastrophe naturelle n'est pas mentionnée explicitement dans cet article. Une des exigences du règlement pourrait cependant encadrer la prise en compte des inondations, mais il faudrait vérifier s'il est utilisé dans ce sens. Ce critère se dicte comme suit :

« La personne qui élabore un plan d'urgence environnementale à l'égard d'une substance tient compte des facteurs suivants : [...] les particularités du lieu où se trouve la substance et de ses environs qui sont susceptibles d'accroître les risques d'effets nuisibles sur l'environnement ou les dangers pour la vie ou la santé humaine [...]. » (*Règlement sur les urgences environnementales*, b)

Pour l'instant, rien dans la documentation consultée ne permet de confirmer que ce critère est employé dans la prévention des impacts des catastrophes naturelles. De plus, les informations recueillies par l'entremise de cette réglementation ne pourraient pas servir à la création d'une cartographie publique puisque les entreprises peuvent faire une demande de confidentialité en vertu de l'art.313 de la LCPE (b).

En deuxième lieu, le système de gestion environnementale ISO 14001 prend en popularité au sein des entreprises du pays. Cette certification est attribuée aux organisations qui prennent à cœur leurs impacts sur l'environnement. La pression sociale fait en sorte que de plus en plus d'entreprises se rallient à la cause. C'est une méthode systématique efficace pour mieux connaître les éléments perturbateurs de son entreprise et d'élaborer des plans d'urgence et de préventions. Les organisations sont amenées à prendre en compte les éléments à risques déterminés dans une perspective de cycle de vie et à élaborer des méthodes de mitigation des impacts environnementaux pour rendre leurs entreprises moins vulnérables. Cependant, cette certification n'est pas obligatoire au Canada et ce ne sont pas toutes les entreprises qui se prêtent à cet

exercice ou qui intègrent les catastrophes naturelles dans leur analyse. Plusieurs se contentent de se conformer aux réglementations des gouvernements en place qui n'ont pas encore intégré les dangers que les inondations futures auront sur les industries et l'émergence des incidents de Natech sur le territoire. (Grevêche et Vaute, 2015; Organisation internationale de normalisation [ISO], 2015a, ISO, 2015b; K. Santini, notes de cours ENV 712 Systèmes de gestion environnemental, Automne 2017)

En troisième lieu, les municipalités ont des responsabilités en matière de sécurité civile et elles peuvent donc agir sur les impacts industriels des inondations. Elles ont notamment le pouvoir de zoner le territoire et d'interdire la construction dans les zones inondables ou jusqu'à une certaine distance de celles-ci. Elles doivent appliquer la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI)*. De plus, elles ont un contrôle sur l'aménagement du territoire et peuvent prescrire des critères à respecter pour les constructions. Finalement, elles ont le pouvoir de réglementer en matière d'environnement et de sécurité civile ce qui peut toucher à la problématique industrielle des inondations. (Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT), 2010; *Loi sur les compétences municipales*, a; *Loi sur les compétences municipales*, b) Cependant, ces compétences légales peuvent ne pas réussir à freiner l'implantation des industries dans les zones à risque. En effet, la *PPRLPI* autorise la construction d'industries dans les zones inondables si ces dernières détiennent un certificat d'autorisation délivré en vertu de la *Loi sur la qualité de l'environnement* du Québec et si les activités ne contreviennent pas à d'autres mesures de protection applicables à la zone. De plus, plusieurs municipalités ne respectent pas la *PPRLPI* et ne prennent pas encore en compte les menaces des inondations dans leur gestion du territoire (Gouvernement du Québec, 2017c; Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT), 2015).

Pour répondre aux nombreuses inondations du printemps 2017 au Québec et prévenir les impacts sur la population, le gouvernement du Québec a élaboré un décret en juillet 2017. Cette publication élaborait des lignes directrices pour la reconstruction en zones inondables des secteurs qui avaient été touchés par les inondations et elle réitérait la nécessité pour les municipalités de respecter la *PPRLPI* et d'établir la cartographie de leurs zones inondables. (MAMOT, 2017) Toutefois, le décret ne faisait pas référence aux industries touchées par les inondations et des habitations ont eu la possibilité d'être reconstruites en zone inondable. Il démontre tout de même une volonté de prévenir les impacts des inondations et d'informer la population des dangers. Cela représente un départ de changement de paradigme et une ouverture à la démocratisation de l'information. Il faut dire qu'aucune catastrophe Natech n'est survenue suite à cet événement et les institutions attendent souvent l'avènement d'une tragédie avant de modifier leur façon de faire. Le drame de l'accident ferroviaire du Lac Mégantic en 2013 en est un bon exemple.

2.4.2 Rejet des réseaux d'égouts

En ce qui concerne les réseaux d'égouts, plusieurs règlements et politiques encadrent les possibles impacts des rejets d'eaux usées sur l'environnement. Les plus importants et utiles dans la gestion des débordements et des dérivations d'eaux usées sont expliqués dans les paragraphes ci-dessous.

Premièrement, au niveau fédéral, le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) a élaboré la Stratégie pancanadienne sur la gestion des rejets d'eaux usées municipales (CCME, 2009). Cette dernière établit des lignes directrices obligatoires pour les municipalités en ce qui a trait à la gestion des eaux usées et aux normes de rejets. Même si cette approche n'a pas été ratifiée par le Québec, la province se conforme tout de même aux exigences. Elle a créé un règlement, soit le *Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées*, qui intègre les objectifs de rejets demandés par le gouvernement fédéral dans ses certificats d'autorisation d'assainissement des eaux usées délivrés. Cette réglementation ne s'applique pas aux égouts pluviaux. De plus, la *Loi canadienne sur les pêches* interdit tout rejet qui pourrait nuire à la vie des poissons.

Deuxièmement, le *Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées* stipule que les débordements sont interdits par temps sec. Un temps sec se définit comme une période qui débute 24h après une pluie. L'interdiction est cependant relevée pour les cas d'urgence, la fonte des neiges, la réalisation de travaux annoncés sous forme d'avis au ministre en vertu de l'article 15 de la LQE et le dégel printanier. De plus, le développement du réseau d'égouts voir l'agrandissement ou sa réfection, ne doit pas augmenter la fréquence des débordements à moins qu'un plan de gestion des surverses d'égouts unitaires ait été approuvé par le ministre.

Troisièmement, l'article 32 de la LQE oblige les promoteurs et entrepreneurs à faire la demande d'un certificat d'autorisation au ministre pour les projets d'infrastructures qui implique l'extension du réseau d'égouts. Cette extension ne doit pas engendrer de risques d'augmentation des eaux pluviales dans le réseau ou de risques d'amplification des débordements d'eaux usées. Par la suite, la *Directive 004* du Gouvernement du Québec indique des lignes directrices pour la conception des réseaux d'égouts. Pour ce qui est de la norme BNQ 1809-300, elle énonce les normes de construction pour les systèmes d'égouts. Aucune directive par rapport à l'augmentation des précipitations et inondations n'y est mentionnée.

Quatrièmement, les municipalités doivent également suivre les exigences du *Programme de suivi des rejets municipaux* (OMAEU) comme mentionner dans la section 2.2 et informer annuellement le gouvernement du Québec de l'efficacité de leur installation d'épuration des eaux usées et des ouvrages de surverses du réseau d'égouts. Cette démarche permet d'évaluer les installations qui ne respectent pas les normes de rejet et de débordements établies par le gouvernement. Les municipalités peuvent également légiférer en matière d'environnement et réglementer la conception des réseaux d'égouts ainsi que les rejets qui y sont acheminés.

Par exemple, la ville de Montréal a élaboré un *Règlement relatif aux rejets dans les ouvrages d'assainissement sur le territoire de l'agglomération de Montréal (RCG 08-041)* qui instaure une tarification sur les rejets industriels qui sont acheminés dans le réseau de traitement. De plus, elle a mis en place un *Règlement sur la protection des bâtiments contre les refoulements d'égouts (11-010)* pour rendre obligatoires l'installation de clapets, le débranchement de gouttières et les solutions pour les entrées de garage en contre-pente.

2.4.3 Sensibilité des milieux récepteurs

La sensibilité des milieux récepteurs est touchée principalement par des lois et règlements qui traitent de la protection de la faune et la flore. Au niveau fédéral, la *Loi sur les espèces en périls* permet de prévenir la disparition des espèces sauvages du pays et de rétablir celles dont la population est en déclin. Au niveau provincial, il existe la *Loi sur les espèces menacées ou vulnérables* qui oblige à prendre en compte les espèces en danger qui sont listées dans la loi dans tout projet de construction ou de développement. Pour ce qui est des milieux humides, ils sont protégés en vertu de la LQE, du règlement sur l'application de la LQE ainsi que par la nouvelle *Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques*. Ces dernières obligent la demande d'un certificat d'autorisation pour tout projet de construction ou de développement sur un milieu humide ainsi que la compensation pour la destruction d'un milieu humide. En ce qui a trait plus spécifiquement à l'utilisation des facteurs qui favorisent la résilience écologique des écosystèmes, aucune obligation n'est présente dans la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*. Les zones inondables doivent être illustrées, mais la prévention n'est pas mentionnée. La loi délègue cette responsabilité aux municipalités qui ne sont pas toutes sensibilisées à la problématique de la gestion de l'eau.

3. STRATÉGIE D'ADAPTATION À L'INTERNATIONAL

Le Québec n'est pas la seule région du monde aux prises avec des problèmes d'inondations. Plusieurs pays, notamment de l'Europe, font face depuis longtemps aux submersions de leur territoire par la montée des eaux et d'autres subissent depuis une dizaine d'années les dommages dus aux pluies torrentielles accentuées par les changements climatiques. Certains pays sont même reconnus internationalement pour leurs innovations sur la question des impacts des inondations. C'est le cas, entre autres, des Pays-Bas qui sont situés sous le niveau de la mer et ont dû s'adapter à cette réalité.

Le Québec pourrait s'inspirer des démarches étrangères pour améliorer sa gestion des impacts des inondations au niveau de la contamination. Il existe cinq types de stratégie pour adapter un territoire aux inondations : le type de l'arche de Noé, le type mur, le type éponge, l'étagement et finalement la déviation. Le type arche de Noé propose d'intégrer l'urbanisation sur le territoire de façon à créer une ville flottante capable d'éviter les inondations par la capacité des édifices et structures à se déplacer verticalement avec la montée des eaux. Le type mur implique la construction d'une digue ou d'un barrage capable de bloquer les eaux et leur entrée sur le territoire urbanisé. Le type éponge permet l'eau de pénétrer sur le territoire et l'emmagine pour l'utiliser dans les activités de la ville. L'étagement implique la construction en hauteur ou sur pilotis des bâtisses et la déviation entraîne la construction de canaux pour dévier les eaux dans ces derniers au lieu de submerger la ville. Ces stratégies peuvent être mises en place parallèlement à une législation qui favorise leurs implantations et qui suggère la prévention et la gestion efficace des inondations.

Cette section présente quelques exemples de bonnes pratiques employées dans d'autres régions du monde. Il est possible de constater un point commun parmi ces exemples : l'implication active du gouvernement dans la gestion des inondations, la participation des différents acteurs dans l'instauration de la méthode de mitigation choisie et la transparence face aux démarches entreprises pour la sensibilisation de la population. Chaque moyen de mitigation doit être adapté au milieu et à la société dans lequel il sera établi, sinon le résultat escompté risque de ne pas être atteint. (Terrin, 2014)

3.1 Une directive européenne pour la gestion des inondations

Tout d'abord, suite à une série d'inondations désastreuses durant les années 1990 à 2002 sur le territoire de l'Europe, l'Union européenne a décidé de mettre en place en 2007 une directive pour prévenir et réduire les impacts des inondations. (Biron et Buffin-Bélanger, 2017; Drobenko, 2010; Müller, 2013) La directive européenne 2007/60/CE, également connu sous l'appellation «directive inondation», a permis d'intégrer une gestion commune aux pays de l'union et de gérer les inondations par bassin versant en favorisant la collaboration entre les différents niveaux institutionnels. La gestion par bassin versant est primordiale pour un contrôle adéquat des effets engendrés en aval des cours d'eau et une sensibilisation de la gestion en amont. (Biron et Buffin-Bélanger, 2017; Drobenko, 2010; Müller, 2013)

La directive oblige les pays sous sa gouverne à faire une caractérisation des inondations sur leur territoire. Ceci implique un historique et une revue des informations disponibles sur les inondations et une cartographie des zones inondables et des territoires à risque d'inondation pour chaque pays et régions. Cela a pour but d'établir une évaluation préliminaire du risque d'inondation (EPRI) sur l'ensemble du territoire européen. Le tout doit être mis à jour chaque six ans afin de conserver la validité des données. De plus, les régions doivent se doter depuis 2015 d'un plan de gestion des risques d'inondation (PGRI) à réviser également tous les 6 ans. Ce plan d'action doit encadrer la prévention des inondations et des impacts (prévision des inondations), la protection de la population et de l'environnement (encouragement à des modes durables d'occupation des sols, amélioration de la rétention de l'eau dans les quartiers, inondation contrôlée de certaines zones en cas de crue) et la préparation à d'éventuelles situations d'urgence (système d'alerte précoce pour chacun des bassins versants, plan d'urgence). (Biron et Buffin-Bélanger, 2017; Drobenko, 2010; Müller, 2013)

Le Canada dispose d'un programme de financement pour l'évaluation du risque des inondations. Il s'agit du *Programme national d'atténuation des catastrophes*. Ce dernier permet de financer les projets d'évaluation des risques d'inondations, de cartographie des zones inondables et de planification de l'atténuation des impacts effectués par les provinces en collaboration avec les municipalités ou le secteur privé. Ce programme ne constitue cependant pas une obligation de participation à la gestion du risque d'inondation contrairement à la directive inondation de l'Europe. Il aide simplement les provinces qui désirent innover dans le domaine de la gestion des catastrophes au pays à pouvoir le faire. (Gouvernement du Canada, 2017b)

3.2 La démocratisation efficace de l'information

Dans le cadre de la directive inondation de l'Union européenne, l'Angleterre a eu la bonne idée de rendre disponible efficacement l'information sur le risque d'inondation à la population. Le gouvernement a créé un site internet où la population peut rentrer une adresse et ainsi vérifier le facteur de risque d'inondation d'un certain secteur. Les données sont également offertes en temps réel. Ainsi, le citoyen n'a pas besoin de fouiller dans les cartes et l'information lui est fournie facilement. Cette application permet de sensibiliser les membres de la communauté qui désirent se construire près d'un cours d'eau en leur indiquant les possibles inondations que leur propriété pourrait subir. On agit aussi sur la prévention en incitant les gens et les industries à ne pas s'installer dans les zones à risque et le tout en rendant seulement accessible l'information. Les risques de contamination engendrés par l'occupation des zones inondables sont alors diminués. Les situations d'urgence peuvent également être améliorées grâce à cet outil d'information en temps réel. (Biron et Buffin-Bélanger, 2017; Gouvernement de l'Angleterre, 2018; MDDELCC, 2017a, 10 novembre)

Dans la mégapole de Singapour, la société privée responsable de l'assainissement des eaux usées et de l'approvisionnement en eau investit grandement dans des campagnes de sensibilisation sur le respect de l'eau. En effet, elle organise des fêtes et des colloques pour véhiculer de l'information sur la consommation durable de l'eau. Elle participe à des émissions de télévision en continu pour parler de la problématique de l'eau et de sa pollution et elle fait également participer la population à des rituels d'adoption de morceau de rivière. Une mascotte est omniprésente dans la ville afin d'établir une relation positive entre les citoyens et l'eau. Cela permet de diminuer la consommation et la pollution des ressources en eau et indirectement de diminuer les surverses des réseaux d'égouts ainsi que les inondations provoquées par la surcharge du réseau.

3.3 Un programme de financement pour les villes éponges

La Chine a connu un essor rapide d'urbanisation au cours des dernières années et le développement urbain est malheureusement souvent synonyme d'imperméabilisation des sols, de développement à proximité des cours d'eau et, par le fait même, de submersion des terres habitées et de pollution. Le pays souffre également d'une problématique d'approvisionnement en eau puisque sa population est trop nombreuse en comparaison à ses réserves naturelles d'eau potable. Pour contrer ce problème grandissant, le gouvernement chinois s'est tourné vers la promotion de la construction durable de villes dites éponges. Il a mis en place en 2014 un programme de financement pour la construction de villes éponges et un projet pilote d'implantation du concept dans 16 villes existantes. (Fang, Gong, Li, Li et Wang, 2016; Han, Jiang, Li et Xing, 2016)

Une ville éponge se définit comme un territoire urbanisé où l'eau s'infiltre pour ensuite être emmagasiné le temps d'être nettoyé par phytoremédiation et utilisé par la suite par la population et rejetée de façon durable. Une ville éponge est donc un mélange de développement à faible impact sur l'environnement, d'utilisation d'infrastructures vertes, de développement durable et de conception qui intègre le cycle de l'eau (conception urbaine sensible à l'eau). (Fang et al., 2016; Han et al., 2016)

Le programme incite à l'innovation en ne dictant pas les méthodes à entreprendre pour la création d'une ville éponge. De plus, le projet pilote permet d'améliorer le programme avant son déploiement dans d'autres villes. Le projet pilote est toujours en cours et le programme en est à ses débuts. Il reste donc encore des ajustements à apporter et les résultats n'en sont pas encore sortis.

3.4 Augmenter la résilience aux inondations par l'urbanisme et l'architecture

Tout comme mentionnée au début de ce chapitre, les Pays-Bas sont grandement avancés dans les techniques de mitigation des inondations. Contrairement à certains pays qui concentrent leurs efforts sur les techniques de type mur pour empêcher l'eau de pénétrer sur leur territoire, les Pays-Bas développent depuis quelques années une stratégie d'adaptation aux changements climatiques axée sur la gestion du risque. Cette méthode pratique la philosophie de construire avec l'eau au lieu de s'y opposer en la canalisant. (Terrin, 2014)

L'urbanisation sur le territoire se fait en conséquence et la ville de Rotterdam en est un bel exemple. Un des projets les plus notables pour l'adaptation aux inondations est le Watersquare (figure 3.1) situé au centre de la ville. Il s'agit d'un bassin de rétention construit de façon à être utilisé comme place publique lorsqu'il est sec. Cette installation atténue les surverses des réseaux d'égouts en temps de pluie en récupérant et stockant les eaux des rues et des toits des édifices. Son contenu est rejeté dans le réseau d'égouts lorsque celui-ci n'est pas surchargé. Son design en fait un lieu communautaire prisé par les citoyens. D'autres variantes de bassins de rétention utilisées prennent la forme de milieux humides artificiels construits dans des parcs de quartiers résidentiels. À Singapour, l'immense parc Bishan (figure 3.2) situé au cœur de la ville s'étend sur plus de 62 ha. Il a été conçu de façon à accueillir, filtrer par phytoremédiation et retenir les eaux d'un quartier en constante expansion et densification. La rivière Kallang jusqu'alors canalisée a été remise à son état naturel. Ce site en plein cœur de la mégapole permet aux citoyens de se ressourcer et allie parfaitement gestion de l'eau et amélioration de la vie urbaine. (Leblanc, 2018; Terrin, 2014)

En plus de son bassin de rétention des eaux de pluie, Rotterdam est également une ville qui possède un grand nombre de toits verts, ce qui permet également l'infiltration sur place et la diminution du ruissellement dans les réseaux d'égouts. La construction d'un toit vert peut être financée en partie, soit près de la moitié des coûts, par la ville grâce à un programme de financement mis en place en partenariat avec l'office de l'eau. La ville a même érigé en partenariat avec le secteur privé un parc, le Dakpark, sur le toit d'un centre commercial (figure 3.3). Ce parc inauguré en 2014 est accessible par des petits sentiers en pente douce autour du centre commercial et constitue le plus long toit vert d'Europe grâce à sa longueur de 1000 mètres. (Leblanc, 2018; Terrin, 2014)

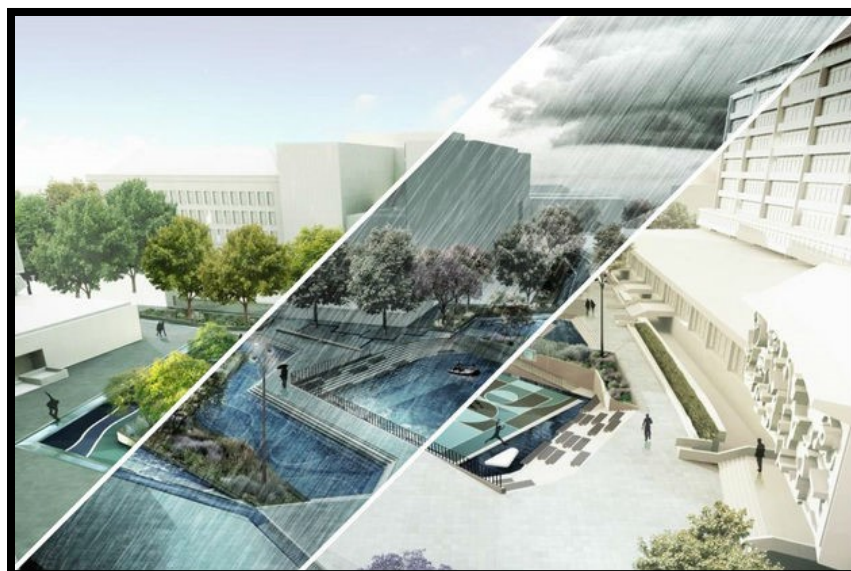


Figure 3. 1 : Watersquare à Rotterdam (tiré de Varone, 2014)

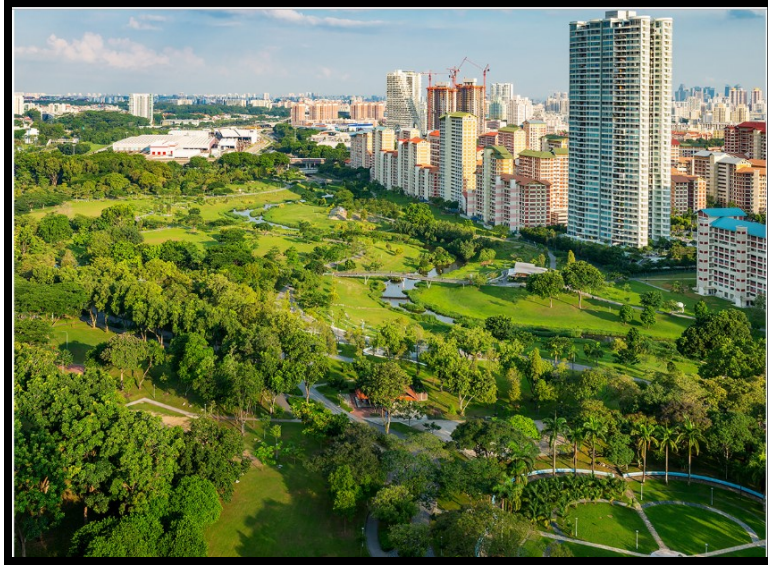


Figure 3. 2 : Parc Bishan à Singapour (tiré de American Society of landscape Architects, 2016)



Figure 3. 3 : Dakpark sur le toit d'un centre commercial (tiré de Leblanc, 2018)

Toujours dans la ville de Rotterdam, des projets expérimentaux d'habitations flottantes sont en cours de réalisation (figure 3.4). Plusieurs concepts sont étudiés : les habitations flottantes, les habitations sur pilotis ainsi que les habitations amphibies. Les habitations amphibies sont des édifices construits pour être sur la terre ferme, mais ils peuvent également flotter en cas d'inondation. Ce type de bâtiment pourrait être intéressant pour stocker des substances dangereuses qui risquent d'être libérées durant une inondation. De plus, des digues ainsi que des murs de végétations en hauteur ont été pensés afin d'éviter la pénétration des eaux sur le territoire et d'assurer la diminution des impacts due à la force de la montée des eaux. (Leblanc, 2018; Terrin, 2014)



Figure 3. 4 : Projet expérimental d’habitation flottante de Rotterdam (tiré de Leblanc, 2018)

Finalement, un autre choix d’aménagement du territoire qui permet de diminuer les risques d’impacts des inondations, notamment pour les industries, est la mise en place d’une zone tampon et végétaliser entre la zone urbanisée et les cours d’eau. La ville de Madrid a, dans le même ordre d’idée, lancé en 2007 un programme de revégétalisation des berges de la rivière Manzanares et d’aménagement d’une promenade urbaine. Ce projet du nom de Madrid Rio et inauguré en 2011 a coûté plus de 340 millions d’euros et a nécessité la destruction d’une autoroute qui passait en périphérie. Ce nouvel espace de loisir pour les citoyens crée de l’espace pour l’expansion de la rivière et la rétention des eaux. La ville de Seattle aux États-Unis a également décidé de suivre cette tendance et a créé une zone tampon servant également de place publique sur sa baie Elliot du pacifique. La ville d’Angers en France a suivi la cadence et elle a entrepris un projet échelonné sur un délai de 20 années pour revégétaliser ses berges et se réapproprier les bienfaits de ses cours d’eau. (Terrin, 2014)



Figure 3. 5 : Projet Madrid Rio (tiré de Malsch, 2011)

3.5 Le programme Delta des Pays-Bas

Le système de gestion des inondations aux Pays-Bas est très complexe et bien développé. Les projets qui encadrent la prévention, la résilience et l'adaptation aux inondations sont presque entièrement financés par l'état. Il faut dire que puisque c'est un pays situé sous le niveau de la mer, la probabilité d'occurrence de submersion des villes y est très élevée. Les impacts y sont donc plus dommageables qu'au Québec. Le pays a ainsi besoin de se doter d'une stratégie efficace et performante dans ce domaine. Le tout dernier outil de gouvernance des risques d'inondations mis au point dans le pays est le *Programme Delta*. (Terrin, 2014)

Ce programme a été conçu en se basant sur l'approche ADM (Gestion adaptative du Delta) de façon à intégrer les incertitudes liées aux impacts des changements climatiques sur les inondations. L'approche ADM consiste à prendre en compte plusieurs scénarios de situations futures des inondations à une localisation précise en intégrant également les impacts des changements climatiques. Chacun des scénarios possède son lot de mesures alternatives possibles à mettre en place à court, moyen et long terme pour mitiger les impacts des inondations ainsi que le risque d'occurrence de celles-ci. Cette démarche permet de donner de la flexibilité aux mesures qui seront entreprises et de se préparer à s'adapter à plusieurs situations possibles. Les scénarios de mitigation sont associés à un indicateur ATP (Point de déclenchement alternatif). Ces indicateurs indiquent lorsque les objectifs de prévention des risques et de sécurité ne sont plus comblés et qu'il est nécessaire d'enclencher une action alternative de mitigation pour rejoindre les buts fixés. (Terrin, 2014)

En plus de prendre en compte l'incertitude des impacts des changements climatiques sur le territoire, le programme planifie ses scénarios et actions à court terme de façon à ne pas engendrer des coûts supplémentaires ou perdus pour des adaptations futures. C'est ainsi que chaque action à court terme doit être liée à un objectif à long terme. De plus, la synergie entre les projets d'autres programmes est favorisée afin d'augmenter l'efficacité économique et la mise en place des infrastructures ou politiques. En résumé, l'approche ADM consiste à analyser le problème à un milieu défini, à élaborer des stratégies intégrées à long terme, à étudier et créer des scénarios de contexte futur d'inondations sur le territoire, à planifier des actions de mitigations alternatives et à déterminer des indicateurs ATP. Cette méthode se fait en consultation étroite avec les acteurs locaux, universitaires et privés. (Terrin, 2014)

Finalement, le *Programme Delta* favorise également l'approche multicouche pour la gestion du risque. Cette procédure consiste à travailler sur le problème des inondations sous trois aspects différents soit la réduction de la probabilité d'occurrence des inondations, l'adaptation de l'espace pour diminuer les impacts des inondations et la création de plans d'urgence et de remise en état des lieux. (Terrin, 2014)

3.6 Technologie de réduction des surverses

Afin de diminuer les facteurs qui influencent la surcharge des réseaux d'égouts, certains dispositifs peuvent être connectés au réseau existant. Dans le cas des réseaux semi-séparatifs et unitaires, il est possible de construire un bassin d'orage. Ce dernier permet d'éviter ou de diminuer le nombre de surverses dans les milieux récepteurs en emmagasinant une partie des eaux usées lors des précipitations intenses. Les études ont démontré que le premier flot des débordements est le plus contaminé et les suivants sont plus dilués puisqu'ils contiennent les eaux de ruissellement de l'orage en cours. Ce dispositif permet donc, comme le démontre la figure 3.6, de contenir le premier flot qui comporte les eaux usées n'ayant pas pu être traité, de le diluer par la venue des eaux de pluie et de déverser un contenu dont la concentration est moindrement polluée dans l'environnement. Lorsque les précipitations se terminent, le contenu du bassin se redirige vers la station d'épuration et le bassin se vide.

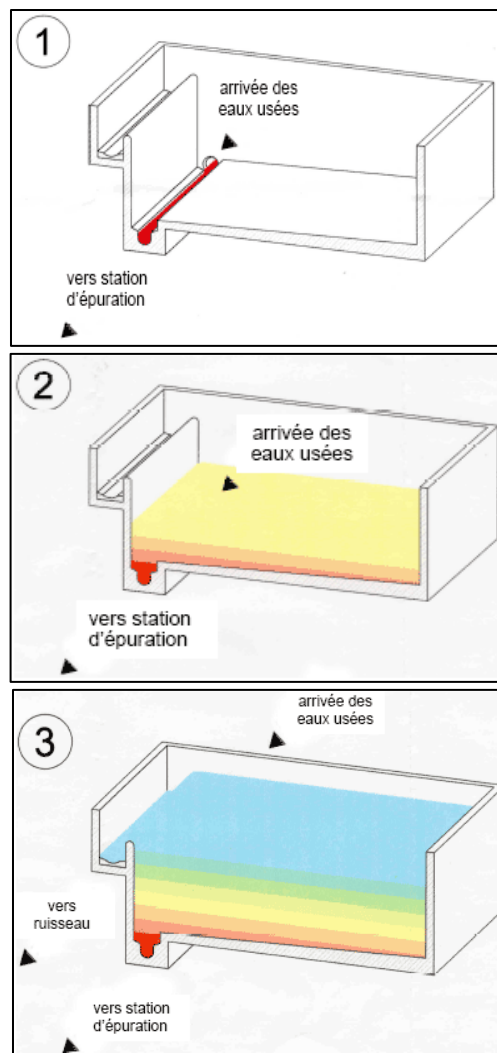


Figure 3. 6 : Illustration du fonctionnement d'un bassin d'orage (tiré d'Administration de la gestion de l'eau (AGE), 2014)

Il existe également des réservoirs souterrains qui permettent d'accroître la capacité du réseau d'égouts. Le fonctionnement des réservoirs est illustré à la figure 3.7. Ces procédés pourraient aider à désengorger le réseau si seulement une partie est submergée par des inondations. Si le territoire connecté aux canalisations est entièrement sous les crues, ces installations ne pourront pas contenir la contamination et cette dernière va se diffuser. (Administration de la gestion de l'eau (AGE), 2014; Organisme des bassins versants de la capitale, 2015)

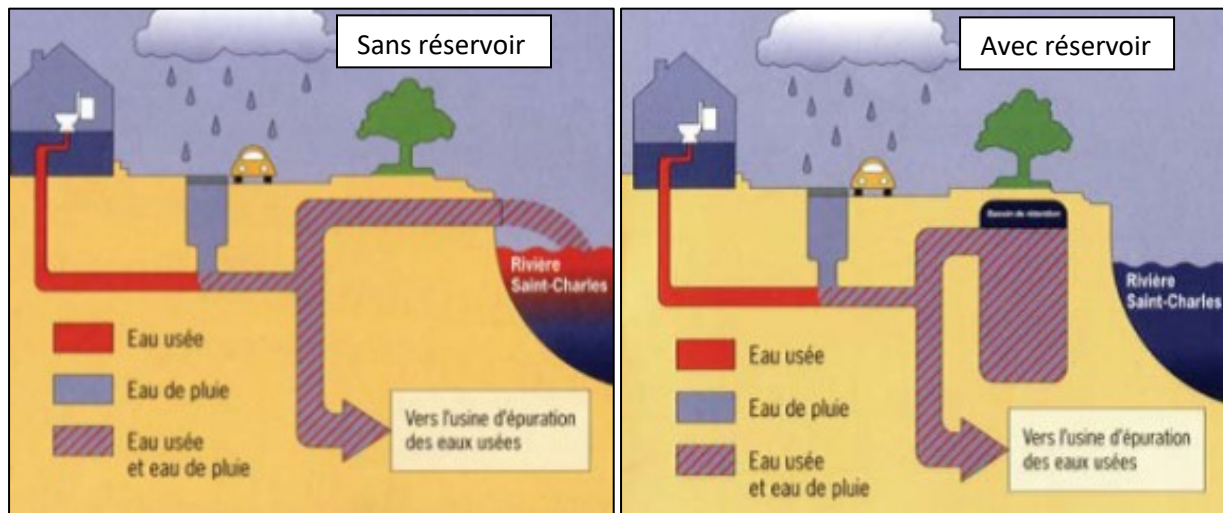


Figure 3. 7 : Illustration du fonctionnement d'un réservoir de rétention souterrain (modifié d'Organisme des bassins versants de la capitale, 2015)

4. DÉTERMINATION D'INDICATEURS POTENTIELS DE RISQUES

Les chapitres précédents ont permis d'énoncer les différents facteurs pouvant influencer les impacts de la contamination lors des inondations. Dans le but de faire une gestion efficace et de proposer des recommandations en lien avec la prévention et l'atténuation de la pollution des écosystèmes par la submersion des sols par les eaux, il est important de déterminer les facteurs décisifs dans la caractérisation et la catégorisation d'impacts à éviter. C'est pourquoi cet essai présente une analyse multicritère basée sur le risque pour déterminer les indicateurs à considérer dans la planification de la gestion des inondations au Québec. Les facteurs exposant les risques de conséquences néfastes les plus élevés sur l'environnement et dont la réglementation n'est pas adéquate seront conservés comme indicateurs. Ces indicateurs pourront être utilisés ultérieurement dans la création de cartes des territoires à risque et ceux à surveiller lors d'inondation. Ces démarches ne pourront qu'améliorer l'efficacité de la gestion des inondations et la planification des plans d'urgences. Les sous-sections suivantes précisent la méthodologie employée pour l'obtention des résultats, les résultats de l'analyse ainsi que les éléments considérés dans l'analyse.

4.1 Synthèse des facteurs influençant le risque de contamination

Suite à la recherche littéraire résumée dans le chapitre 2, les informations ont été étudiées afin d'en faire ressortir les éléments qui influencent ou engendrent des impacts lors des inondations. Sans évaluer la gravité des conséquences que ces facteurs encourrent, ces derniers ont été notés afin de les étudier à l'aide d'une analyse multicritère. Pour chacun des aspects problématiques étudiés dans ce rapport, c'est-à-dire les rejets industriels, les rejets des réseaux d'égouts et la sensibilité des milieux récepteurs, les facteurs sont indiqués dans les tableaux 4.1 à 4.3.

4.2 Analyse multicritère

Cette section présente l'analyse multicritère, c'est-à-dire les cotations utilisées, les résultats et la justification de la notation.

4.2.1 Explication des critères d'évaluation utilisés

Pour analyser l'importance quant au risque des répercussions de chacun des facteurs déterminés précédemment, ces derniers ont été évalués selon les critères suivants : l'intensité de l'impact qu'ils encourrent, l'étendue des dommages occasionnés, la probabilité d'occurrence de l'impact au Québec et l'efficacité de la réglementation en place. Les cotations qui seront utilisées dans l'analyse multicritère pour chacun des critères sont expliquées dans le tableau 4.4.

Le risque se définit comme le produit de la gravité par la probabilité d'occurrence. Dans le cas de notre problématique, la gravité est déterminée par l'intensité de l'impact et son étendue. Par conséquent, ces deux valeurs s'additionnent et se multiplient par la probabilité d'occurrence pour donner le niveau de risque du

facteur étudié. Ce niveau de risque, en plus du critère de la réglementation en place, détermine si le facteur est significatif et représentatif d'un impact majeur. Les formules 4.1 et 4.2 indiquent les calculs à effectuer pour déterminer le risque des facteurs.

$$\text{Gravité} = \text{Intensité de l'impact} + \text{Étendue de l'impact} \quad \textbf{Formule 4.1}$$

$$\text{Risque} = \text{Gravité} \times \text{Probabilité d'occurrence au Québec} \quad \textbf{Formule 4.2}$$

Le risque peut être positif ou négatif. Un risque positif signifie que le facteur améliore la résilience écosystémique du milieu en cas d'inondation. Au contraire, un risque à valeur négative révèle que le facteur est associé à un dommage sur l'environnement en cas d'inondation. Le risque peut être contrôlé à l'aide d'une réglementation efficace et adéquate. C'est pourquoi ce critère est également pris en compte. Un risque maîtrisé nécessite une moins grande préoccupation qu'un risque négligé. Ce critère permet donc de diminuer l'aspect significatif des facteurs négatifs et de diriger les lignes directrices des recommandations qui seront proposées plus loin dans l'essai.

Tableau 4.1 : Facteurs qui déterminent ou influencent l'impact des rejets des industries

Types d'industries	Industries pétrochimiques et raffineries
	Industries de transformation des métaux
	Mines
	Industries de distribution en gros et au détail / entreposage
	Industries de production et d'entreposage d'explosifs
	Fabricants de produits chimiques fins
	Fabricants de produits chimiques généraux
	Industries agricoles
Âge des installations	<10 ans
	10-20 ans
	>20 ans
Outil de Stockage des substances	Réservoir hors terre
	Réservoir à toit flottant
	Récipient sous pression
	Tuyaux hors terre
	Réservoir souterrain
	Récipient cylindrique

Tableau 4. 2 : Facteurs qui déterminent ou influencent l'impact des rejets des réseaux d'égouts

Âge des installations	<10 ans
	10-20 ans
	>20 ans
Types de réseaux d'égouts	Unitaire
	Semi-séparatif
	Sanitaire
	Pluvial
Capacité de la station d'épuration (m³/d)	>2500
	2500 à 17500
	<17500
Types de stations d'assainissement	Boues activées
	Disques biologiques
	Biofiltration
	Dégrillage fin
	Étangs aérés
	Étangs à rétention réduite
	Étangs non aérés
	Divers
	Physico-chimique

Tableau 4. 3 : Facteurs qui déterminent ou influencent la sensibilité du milieu récepteur

Dimension biotique	Présence d'espèces en voie de disparition
	Présence d'espèces menacées
	Présence d'espèces préoccupantes ou vulnérables
	Territoire avec moins de 30% de couvert végétal
Dimension écologique	Couloirs écologiques
	Urbanisation
	Présence de milieux humides
	Présence de terrains protégés
Dimension abiotique	M.O
	Eh
	Granulométrie fine (argile)
	Granulométrie moyenne (sable)
	Granulométrie grossière (remblais)
	β
	Disponibilité de l'O ₂
	Saturation du sol en eau
	Présence de N et P
	K

Tableau 4. 4 : Explication des cotations du niveau d’importance relative des différents critères de l’analyse multicritère

Critères	Niveaux							
	N/D	-3	-2	-1	0	1	2	3
Intensité de l'impact	Information indisponible ou insuffisante	Impact positif majeur à long terme (ex. : Connectivité entre les milieux, interdiction de l'utilisation d'un contaminant, politique préventive de la pollution, etc.)	Impact positif à long terme (ex. : Augmentation des niches écologiques, protection d'un habitat naturel, etc.)	Impact positif à court terme (ex. : Restauration d'un site, amélioration de la biodiversité, etc.)	Impacts négligeables (ex. : Perturbation de la biocénose) et réversibles (ex. : Possibilité de restauration naturelle)	Impacts faibles (ex. : Perturbation de la biocénose et dégradation réversible des habitats) et non réversibles (ex. : Bioaccumulation de contaminants non toxique)	Impacts majeurs, mais réversibles à long terme (ex. : Mort de la biocénose, destruction de l'habitat)	Impacts majeurs (ex. : Mort de la biocénose, destruction de l'habitat) et non réversibles (ex. : Bioaccumulation de contaminants toxique, disparition d'une espèce, etc.)
Étendu de l'impact	Information indisponible ou insuffisante		Amélioration régionale de la résilience du milieu aux impacts des inondations (ex : >25 km)	Amélioration locale de la résilience du milieu aux impacts des inondations (ex. : 5 à 25 km)	Pollution restreinte au site à la source de la contamination (ex. : 1 à 5 km)	Migration locale de la contamination jusqu'aux territoires voisins au site à la source de la contamination (ex. : 5 à 25 km)	Contamination régionale (ex : >25 km)	
Probabilité d'occurrence au Québec	Information indisponible ou insuffisante				Phénomène non ou peu probable au Québec (ex. : fréquence d'occurrence de 100 ans)	Phénomène rare, mais probable (ex : occurrence d'environ 1 fois par 10 ans)	Phénomène occasionnel (ex. : occurrence de plus ou moins une fois par an)	Phénomène fréquent (ex : occurrence d'environ une fois par mois ou plus)
Réglementation en place	Information indisponible ou insuffisante		Bon encadrement grâce à la réglementation	Réglementation présente, mais à améliorer	Réglementation non présente sur le sujet			

Tableau 4. 5 : Indication des niveaux de risque sélectionnés pour les indicateurs en fonction de la probabilité d'occurrence et de la gravité de l'impact

Les niveaux surlignés en vert dans le tableau 4.5 représentent des risques positifs pour l'environnement et donc des opportunités à saisir. Les risques en beige sont négligeables et ceux en jaune sont à considérer, mais ne sont pas prioritaires. Les niveaux de risque en rouge ou en bleu sont ceux qui présentent des risques significatifs et qui seront sélectionnés comme indicateurs de possibles impacts majeurs négatifs et positifs.

Les résultats de l'analyse multicritère sont indiqués dans le tableau 4.6 et ont été déterminés à l'aide de la revue de littérature scientifique résumée dans le chapitre 2. Le pointage de chacun des facteurs du tableau est expliqué dans la section 4.2.3. Comme indiqué dans le tableau 4.4, les facteurs qui comportent un risque élevé compris entre 8 et 15 peuvent servir d'indicateurs de risque d'impact de contamination lors des inondations. Ces facteurs sont :

- 52

- ✓ Présence d'une station d'épuration dont la capacité est $>17500 \text{ m}^3/\text{d}$
- ✓ Présence d'une station d'épuration de type : Boues activées, Biofiltration ou Physico-chimique;
- Pour l'aspect de la sensibilité du milieu
 - ✓ Dimension biotique : Présence d'espèces en voie de disparition, Présence d'espèces menacées, Territoire avec moins de 30% de couvert végétal;
 - ✓ Dimension écologique : Présence d'urbanisation.

En ce qui a trait à la résistance des milieux à la pollution causée par les inondations, les facteurs qui comportent un risque situé entre les valeurs de -8 à -15 peuvent servir d'indicateurs de résilience aux inondations. Ces facteurs sont :

- Pour l'aspect de la sensibilité du milieu;
 - ✓ Dimension écologique : Couloirs écologiques, Présence de milieux humides, Présence de terrains protégés.

Une analyse critique permettant la proposition de recommandations de ces résultats se trouve à la section 4.3 de cet essai.

4.2.3 Justifications des pointages accordés

Dans le tableau 4.6 des résultats de l'analyse multicritère, les pointages accordés à chacun des facteurs de pollution lors d'inondations sont indiqués. La présente section justifie l'attribution des valeurs selon les informations retenues lors de la recherche dans la littérature scientifique (chapitre 2).

Premièrement, pour l'aspect environnemental des **rejets des industries**, 3 grandes catégories d'indicateurs ont été étudiées, soit le type d'industries (incluant le type de substances dangereuses), l'âge des installations ainsi que les outils de stockage des substances (incluant le volume des réservoirs). Pour la classification du risque des **types d'industries**, seuls les impacts liés à des inondations d'intensité faible à moyenne ont été considérés puisqu'il s'agit des puissances enregistrées au Québec. Pour une intensité d'inondation moyenne, tous les types d'industries avaient enregistré des fuites de contamination selon l'étude de Krausmann et Mushtaq (2008). Ensuite, il est possible que certains contaminants très solubles utilisés dans certaines industries contaminent à long terme une région géographique d'ampleur régionale ($>25\text{km}$). Ces contaminants sont généralement moins réactifs dans l'environnement tel que les métaux et les pesticides.

Cependant, ces événements de dispersion de la contamination sont plutôt rares et peu probables; ils constituent environ 7% des situations de devenir de la contamination lors des événements Natech selon

Tableau 4. 6 : Résultats de l’analyse multicritère

Facteurs d'impacts / Critères de sélection	Intensité de l'impact	Étendue de l'impact	Probabilité d'occurrence au Québec	Total du risque	Réglementation en place
Rejets des industries					-1
Type d'industries					
Industries pétrochimiques et raffineries	2	1	2	6	
Industries de transformation des métaux	3	2*	1	5	
Mines	3	2*	1	5	
Industries de distribution en gros et au détail / entreposage	2	1	2	6	
Industries de production et d'entreposage d'explosifs	2	0	1	2	
Fabricants de produits chimiques fins	3	2	1	5	
Fabricants de produits chimiques généraux	2	2	1	4	
Industries agricoles	1	2	2	6	
Âge des installations					
<10 ans	N/A	N/A	N/A	N/A	
10-20 ans	N/A	N/A	N/A	N/A	
>20 ans	N/A	N/A	N/A	N/A	
Outil de Stockage des substances					
Réservoir hors terre	3	1	2	8	
Réservoir à toit flottant	3	1	2	8	
Récipient sous pression	3	1	1	4	
Tuyaux hors terre	3	1	1	4	
Réservoir souterrain	3	1	0	0	
Séparateur de cuve cylindrique	3	1	0	0	
Rejets des réseaux d'égouts					-1
Âge des installations					
<10 ans	N/A	N/A	N/A	N/A	
10-20 ans	N/A	N/A	N/A	N/A	
>20 ans	N/A	N/A	N/A	N/A	
Types de réseaux d'égouts					
Unitaire	3	1	3	12	
Semi-séparatif	3	1	3	12	
Sanitaire	2	1	1	3	
Pluvial	1	0	3	3	
Capacité de la station d'épuration					
> 2500 m³/d	1*	1	1*	2	
2500 à 17500 m³/d	2*	2	1*	4	
>17500 m³/d	3*	2	3*	15	
Types de stations d'assainissement					
Boues activées	3*	1	2*	8	
Disques biologiques	3*	1	1*	4	

Tableau 4.6 : Résultats de l’analyse multicritère (suite)

Facteurs d'impacts / Critères de sélection (suite)	Intensité de l'impact (suite)	Étendue de l'impact (suite)	Probabilité d'occurrence au Québec (suite)	Total du risque (suite)	Réglementation en place (suite)
Types de stations d'assainissement (suite)					-1
Biofiltration	3*	1	3*	12	
Dégrillage fin	3*	1	1*	4	
Étangs aérés	3*	1	1*	4	
Étangs à rétention réduite	3*	1	1*	4	
Étangs non aérés	3*	1	1*	4	
Divers	3*	1	1*	4	
Physico-chimique	3*	1	3*	12	
Sensibilité du milieu récepteur					-1
Dimension biotique					
Présence d'espèces en voie de disparition	3	2	3	15	
Présence d'espèces menacées	2	2	3	12	
Présence d'espèces préoccupantes ou vulnérables	0	1	3	3	
Territoire avec moins de 30% de couvert végétal	3	2	3	15	
Dimension écologique					
Couloirs écologiques	-3	-2	3	-15	
Urbanisation	2	1	3	9	
Présence de milieux humides	-2	-1	3	-9	
Présence de terrains protégés	-2	-2	2	-8	
Dimension abiotique					
M.O	N/A	-1	N/A	N/A	
Eh	N/A	-1	N/A	N/A	
Granulométrie fine (argile)	-1	-1	2	-4	
Granulométrie moyenne (sable)	0	1	2	2	
Granulométrie grossière (remblais)	1	1	2	4	
β	N/A	-1	N/A	N/A	
Disponibilité de l'O ₂	N/A	-1	N/A	N/A	
Saturation du sol en eau	N/A	-1	N/A	N/A	
Présence de N et P	N/A	-1	N/A	N/A	
K	N/A	-1	N/A	N/A	

* : Des informations supplémentaires pourraient améliorer l’analyse

■ : Indicateur d’impact d’inondation négatif

■ : Indicateur de résilience aux impacts d’inondation

Krausmann et Mushtaq (2008). De plus, pour la probabilité d'occurrence au Québec des différents facteurs, un risque probable (cotation de 1) a minimalement été attribué afin de rester sécuritaire, et ce même si les incidents Natech sont peu probables (2 à 4% au niveau mondial). L'attribution d'une probabilité non ou peu probable (cotation de 0 selon l'échelle du tableau 4.4) aurait donné une valeur de risque de 0 à plusieurs indicateurs, ce qui n'était pas souhaitable vu l'importance des dommages d'un incident industriel. Les raisonnements derrière chacune des notes vont comme suit :

- **Industries pétrochimiques et raffineries** : Utilisation et entreposage de produits toxiques pour l'environnement (ex. : gaz, diesel, propane, pétrole, etc.) et risque de feu ou d'explosion lors d'inondation d'intensité moyenne. La combustion des contaminants limite la migration de ceux-ci, mais cause des dommages destructeurs au milieu local. Cependant, ces répercussions sont souvent réversibles à long terme. De plus, ces industries utilisent les substances les plus souvent impliquées dans des incidents Natech selon le tableau 2.2. C'est pourquoi une cote de 2 a été considérée pour l'intensité de l'impact, 1 pour l'étendue de l'impact et 2 pour la probabilité d'occurrence au Québec.
- **Industries de transformation des métaux** : Utilisation et entreposage de produits très toxiques et persistants dans l'environnement tels que du cyanure et des métaux lourds (ex. : chrome, arsenic, cadmium, cuivre, plomb, fer, zinc, etc.). Les métaux peuvent être très solubles et migrer sur de longues distances selon leur spéciation. Ils sont généralement plus mobiles en pH acide. C'est pourquoi les pointages attribués sont de 3 pour l'intensité de l'impact, de 2 pour l'étendue de l'impact et de 1 pour la probabilité d'occurrence au Québec.
- **Mines** : Utilisation ou entreposage de produits très toxiques à faible quantité et persistants dans l'environnement tels que des métaux lourds (ex. : chrome, arsenic, cadmium, cuivre, plomb, fer, zinc, etc.) provenant des parcs à résidus miniers. Les métaux peuvent être très solubles et migrer sur de longues distances selon leur spéciation, généralement en pH acide. C'est pour ces raisons que les cotes accordées sont de 3 pour l'intensité de l'impact, de 2 pour l'étendue de l'impact et de 1 pour la probabilité d'occurrence au Québec.
- **Industries de distribution en gros et au détail / entreposage** : Ces industries manipulent, transportent et entreposent toutes sortes de substances aux caractéristiques allant d'inoffensives à très toxiques et persistantes. Lors de bris des installations de stockage, des contaminants non compatibles peuvent se retrouver en contact et créer des explosions ou des événements imprévisibles. Ces interactions entre les substances peuvent limiter la migration des contaminants. Plusieurs substances employées dans ces industries sont souvent impliquées dans des incidents Natech, telles que le propane, les composés pétroliers et l'essence, et se retrouvent au Québec (voir tableau 2.2 et 2.3). C'est également ces industries qui entreposent et transportent la plupart des

substances dangereuses les plus déclarées en vertu du règlement sur les urgences environnementales telles que le chlore et l'ammoniaque (voir tableau 2.3). Ainsi, pour ces caractéristiques, les notes des critères évalués sont, respectivement pour l'intensité de l'impact, l'étendue de l'impact et la probabilité d'occurrence au Québec, de 2, 1 et 2.

- **Industries de production et d'entreposage d'explosifs** : Ces industries comportent de grands risques d'explosions massives lors d'inondation d'intensité moyenne, ce qui détruit l'écosystème en place. Cependant, ce dernier peut se restaurer généralement à long terme et la contamination a peu de chance de migrer puisqu'elle interagit sur le terrain en alimentant la combustion. Pour ces raisons, les cotes accordées respectivement pour l'intensité de l'impact, l'étendue de l'impact et la probabilité d'occurrence au Québec sont de 2, 0 et 1.
- **Fabricants de produits chimiques fins** : Utilisation et entreposage de produits très toxiques en faible quantité pour l'environnement et qui peuvent être persistants (ex. : fabrication de pesticides, libération de perturbateurs endocriniens par les industries pharmaceutiques). Les quantités produites sont généralement faibles puisqu'elles sont dédiées à des clients particuliers ou à des besoins précis. Dépendamment du contaminant, les dommages encourus peuvent être réversibles à long terme. La migration est possible chez les voisins et dans le cas de certains produits (ex. : pesticides), ils se solubilisent dans l'eau et se propagent régionalement. Par conséquent, le pointage attribué pour ce type d'industrie est de 3 pour l'intensité de l'impact, de 2 pour l'étendue de l'impact et de 1 pour la probabilité d'occurrence au Québec.
- **Fabricants de produits chimiques généraux** : Utilisation et entreposage de produits parfois toxiques pour l'environnement. Lors de bris des installations, des contaminants non compatibles peuvent se retrouver en contact et le résultat de leurs interactions peut être imprévisible et peut affecter le milieu. Les produits chimiques ont des solubilités différentes et n'interagissent pas tous de la même façon avec le milieu avec lequel ils sont en contact. Par souci de sécurité, une possible migration régionale est considérée. C'est pourquoi les pointages attribués sont de 2 pour l'intensité de l'impact, de 2 pour l'étendue de l'impact et de 1 pour la probabilité d'occurrence au Québec.
- **Industries agricoles** : Les industries agricoles emploient des pesticides et insecticides qui sont généralement très toxiques pour l'environnement ainsi que persistants. La faible quantité appliquée limite cependant les dommages du produit sur le milieu et les territoires voisins. Ensuite, les pesticides sont des substances qui peuvent migrer sur de longues distances entraînées par les sources d'eau. De plus, ce contaminant fait partie des substances souvent impliquées dans des incidents Natech et les terres agricoles à proximité des cours d'eau libèrent de la contamination, celle appliquée sur les cultures, à chaque épisode d'inondation, qu'il soit d'intensité faible ou moyenne.

Plusieurs industries agricoles sont présentes au Québec; environ 25% des entreprises qui stockent des substances dangereuses sont des industries agricoles. Pour ces raisons, les cotes accordées sont de 1 pour l'intensité de l'impact, de 2 pour l'étendue de l'impact et de 2 pour la probabilité d'occurrence au Québec.

En ce qui concerne le facteur de l'**âge des installations**, l'intensité de l'impact se définit par la quantité de contaminants que les structures de l'établissement peuvent laisser s'échapper dans l'environnement dépendamment de leur âge de construction. Pour pouvoir évaluer cet indicateur, il faut faire l'hypothèse que les installations sont conformes et bien construites. De plus, il faut également faire la supposition que les installations comportent des contaminants qui possèdent le même degré de toxicité pour l'environnement afin d'éliminer l'influence de ce facteur qui est déjà pris en compte dans les indicateurs du type d'industrie. Ainsi, avec ces conditions, il est possible d'établir qu'une installation de moins de 10 ans comporte moins de fuites qu'une installation de 20 ans, et ce parce que les matériaux de construction n'ont pas atteint leur fin de vie utile. Plus une structure a des fuites, plus la quantité libérée est généralement grande et l'intensité de l'impact se voit alors plus grande. Cependant, aucune information quantitative en ce qui a trait à l'étendue de la contamination et la probabilité d'occurrence au Québec n'a été trouvée dans la documentation consultée. Il manque donc de l'information pour établir le risque de ce facteur d'impact. Une entreprise pourrait cependant évaluer à l'interne ce risque. Il sera important de considérer l'entretien des structures dans l'évaluation.

Pour évaluer le facteur des **outils de stockage des substances**, il est nécessaire de poser une hypothèse en ce qui a trait à l'intensité de l'impact et l'étendue de l'impact. En effet, l'intensité et l'étendue de l'impact dépendent du contaminant et de la quantité stockée. Puisque les récipients peuvent contenir toutes sortes de substances, il a été convenu de rester sécuritaire dans le diagnostic et d'étudier l'influence du facteur de l'outil de stockage en considérant que son contenu était toxique, persistant dans l'environnement et qu'il engendrait des dommages majeurs (niveau 3 du tableau 4.4). Dans le cas de l'étendue de l'impact, celle-ci résulte encore une fois du type de produit entreposé et le critère a été fixé à une migration sur les terrains voisins (niveau 1 du tableau 4.4) de façon à rester sécuritaire, mais aussi de façon à correspondre à la moyenne de migration des substances. Au sujet de la probabilité d'occurrence, les études d'Antonioni, Bonvicini, Cozzani et Spadoni (2009) ainsi que les travaux de Campedel, Cozzani, Krausmann et Renni (2009) ont démontré que les risques d'incident Natech étaient grandement plus élevés pour les réservoirs atmosphériques, c'est-à-dire les réservoirs hors terre et à toit flottant, que pour les réservoirs souterrains et les séparateurs de cuve cylindrique dont les probabilités d'occurrences étaient presque nulles. Les récipients sous-pression ainsi que les tuyaux hors terre comportaient également leurs lots d'implications dans les incidents Natech, mais les probabilités demeuraient moins élevées que pour les réservoirs atmosphériques.

Ainsi, une cote de 2 a été attribuée pour la probabilité d'occurrence d'un incident Natech liée à la présence d'un réservoir atmosphérique, soit hors terre ou à toit flottant. Une note de 1 a été accordée pour les récipients sous-pression ainsi que les tuyaux hors terre et une valeur de 0 a été notée pour les réservoirs souterrains et les séparateurs de cuve cylindrique.

La **réglementation en place pour les rejets des industries** en cas d'inondation pourrait être améliorée. Effectivement, comme mentionnée dans la section 2.4.1, le règlement sur les urgences environnementales du gouvernement du Canada permet certes de répertorier les entreprises en possession de substances dangereuses, mais une clause de confidentialité rend inutilisables ces données par les municipalités ou autres organisations de gestion des catastrophes. Ensuite, ce règlement demande aux entreprises qui possèdent une quantité définie de substances dangereuses de préparer un plan de prévention, mais rien dans ce règlement ne stipule directement un plan de prévention en cas d'inondation. De plus, ce ne sont pas toutes les municipalités qui se servent des mesures de prévention pour les incidents Natech dus aux inondations sur leur territoire. Il est possible de rencontrer encore de nos jours des industries qui s'installent près des cours d'eau et dans une zone d'inondations potentielle pour cause d'un plan d'urbanisme inexistant ou inadéquat. Pour ces raisons, la réglementation n'est pas inexistante, mais reste insuffisante pour un contrôle favorable des impacts industriels et une cote de -1 a été attribuée à ce critère.

Deuxièmement, pour l'aspect des **rejets des réseaux d'égouts**, quatre catégories sont analysées, soit le type de réseau d'égouts, l'âge des installations, la capacité de la station d'épuration ainsi que le type de stations d'assainissement. Tout d'abord, pour le facteur du **type de réseau d'égouts**, le risque d'impacts des réseaux d'égouts unitaires, semi-séparatifs, sanitaires et pluviaux a été évalué. Le raisonnement va comme suit :

- **Unitaire** : Le réseau d'égouts unitaire est le réseau contenant la plus grande variété de contaminants puisqu'il constitue un mélange des eaux sanitaires (commerciales, industrielles et résidentielles) et pluviales. Son débordement peut libérer en grande quantité dans l'environnement des substances toxiques et persistantes telles que des métaux lourds ainsi que des pesticides/insecticides (voir tableau 2.5). Ce déversement se répercute par la mort de biocénose et la bioaccumulation de substances dans les organismes. Les débordements sont généralement localisés à un endroit précis, soit à l'emplacement des ouvrages de surverse. Puisqu'ils sont véhiculés dans l'eau et que les inondations peuvent se déplacer sur plusieurs kilomètres, les substances nuisibles peuvent migrer sur les terrains voisins. De plus, les réseaux d'égouts unitaires sont les égouts qui présentent le plus haut taux de surverses par années et ils sont encore présents dans les grandes villes du Québec (Montréal, Laval, Longueuil, Québec, Trois-Rivières). Ces systèmes sont généralement âgés et nécessitent des réfections. Pour ces raisons, les notes accordées sont de 3 pour l'intensité de l'impact, de 1 pour l'étendue de l'impact et de 3 pour la probabilité d'occurrence au Québec.

- **Semi-Séparatif** : Les systèmes semi-séparatifs sont comparables aux systèmes d'égouts unitaires. La seule différence se situe au niveau de la non-collecte des eaux en provenance des rues de la ville. Par conséquent, la diversité de contaminants est moindre que pour les réseaux unitaires ; les métaux lourds et hydrocarbures sont généralement d'origine routière et ne se retrouvent donc normalement pas dans les réseaux semi-séparatifs. Cependant, si l'on soustrait les éléments présents dans les débordements de réseaux pluviaux (tableau 2.6) des substances problématiques présentes dans les surverses de réseaux unitaires (tableau 2.5), il est possible de constater qu'on retrouverait des produits toxiques et persistants d'origine pharmaceutique et d'hygiène personnelle tels que les pesticides/insecticides. D'autres produits toxiques de provenance sanitaire industrielle restent également présents dans les eaux usées. Par conséquent, pour la similarité entre les systèmes unitaires et semi-séparatifs, la cotation de 3, 1 et 3 a été attribuée respectivement aux critères accordés de l'intensité de l'impact, de l'étendue de l'impact et de la probabilité d'occurrence au Québec.
- **Sanitaire** : Le réseau d'égouts sanitaire est composé de substances toxiques pour l'environnement tout comme le démontre le tableau 2.7. Un débordement lors des inondations de ce type de réseau pourrait engendrer des conséquences majeures sur les écosystèmes, mais possiblement réversibles à long terme. Puisque ces systèmes ne sont pas connectés à la surface du sol, une libération de contaminants signifierait un bris des installations à une localisation précise. Puisqu'ils sont véhiculés dans l'eau et que les inondations peuvent se déplacer sur plusieurs kilomètres, les substances nuisibles peuvent migrer sur les terrains voisins, tout comme les réseaux unitaires et semi-séparatifs. Les occurrences de bris des réseaux sanitaires sont rares au Québec dû aux entretiens et suivis effectués par les municipalités, mais ils demeurent probables. Ce raisonnement mène à une notation de 2 pour le critère de l'intensité d'impact, de 1 pour l'étendue de l'impact et de 1 pour la probabilité d'occurrence au Québec.
- **Pluvial** : Le réseau pluvial recueille les eaux de ruissellement en provenance des terrains et des routes. Cette caractéristique fait en sorte que ces eaux contiennent des contaminants toxiques pour les espèces et ces substances peuvent également se bioaccumuler dans la chaîne alimentaire (voir tableau 2.6). Cependant, les quantités qui sont véhiculées dans le réseau et rejetées dans les plans et cours d'eau sont habituellement négligeables et n'occasionnent pas de dommages immédiats à l'écosystème. En ce qui a trait à l'étendue de l'impact, les contaminants qui sont libérés lors des inondations par ce réseau sont des substances qui se trouvaient déjà initialement dans le milieu. Les concentrations peuvent différer, mais comme déjà expliquer, les quantités de contaminants sont faibles dans les eaux de pluie. Comme la météo influence grandement le débordement de ce

système, la probabilité que ce dernier déborde lors des inondations est grande. Pour ces raisons, les critères ont été notés de la façon suivante : 1 pour l'intensité d'impact, 0 pour l'étendue de l'impact et 3 pour la probabilité d'occurrence.

Ensuite, pour le facteur de l'**âge des installations** l'intensité de l'impact peut être déterminée par les contaminants que le réseau d'égouts contient et laisse échapper lors des surverses ou refoulements d'égouts. Cet élément dépend, comme soulevé précédemment, du type de réseau d'égouts. Ainsi, dans le but de rester sécuritaire et d'analyser uniquement l'influence de l'âge des installations, un réseau d'égouts unitaire a été considéré pour les trois intervalles d'âges. En ce qui a trait à l'étendue de l'impact, aucune information quantitative n'a été trouvée dans la documentation effectuée. Il manquait également des informations pour analyser rigoureusement la probabilité d'occurrence. Effectivement, instinctivement une installation plus âgée a plus de chance de laisser échapper des contaminants. Cependant, aucune donnée de la documentation consultée ne venait appuyer ce point à part le fait que les réseaux d'égouts de la province avaient une moyenne d'âge de 16,8 ans et ils nécessitaient des réfections dans la majorité des cas.

Par la suite, comme il est indiqué dans le tableau 2.8 à la section 2.2.3, plus la **capacité de la station d'épuration** augmente, plus le nombre d'ouvrages de surverses connectés au réseau d'égouts est élevé. Cette quantité va jusqu'à plus que doubler lorsque l'on dépasse le 2500 m³/d. Dans cette situation, plus il y a de stations de surverse, plus il y a de chance que l'eau des égouts s'échappe dans l'environnement par ces exutoires lors des inondations et contamine des localisations différentes (emplacement différent pour chaque exutoire). La contamination s'étend donc sur un plus grand territoire et parfois dans des cours d'eau différents. De plus, la population desservie est proportionnelle à la capacité des stations d'épuration. Une grande capacité implique donc une diversification de la contamination ainsi qu'une plus grande quantité d'eaux usées dans les égouts sanitaires, unitaires et semi-séparatifs. Ces informations resteraient à confirmer avec des données de réseaux d'égouts du Québec. De plus, il serait intéressant de connaître le pourcentage des stations pour chaque capacité du tableau 2.8 qui sont des réseaux unitaires, sanitaires, pluviaux et semi-séparatifs. Ceci permettrait de mieux évaluer l'intensité de l'impact puisqu'un réseau unitaire ou semi-séparatif est plus dommageable pour l'environnement. Entre-temps, il est possible d'énoncer par le raisonnement expliqué précédemment que l'intensité de l'impact pour la capacité de la station d'épuration est proportionnelle à son volume. Ainsi, des cotes de 1, 2 et 3 ont été attribuées respectivement pour les capacités de >2500 m³/d, de 2500 à 17500 m³/d et de >17500 m³/d. Les mêmes notes ont été accordées pour le critère de l'étendue de l'impact à l'exception de la capacité de >17500 m³/d qui a été coté 2 (le niveau 3 n'existe pas dans la grille du tableau 4.4). En effet, plus la capacité est élevée, plus le nombre d'installations de surverse est élevé et plus de points géographiques risquent d'être contaminés. Pour ce qui est de la probabilité d'occurrence, la cotation a été déterminée selon le nombre moyen d'installations d'ouvrages de

surverse pour les différentes capacités. Comme le nombre d'exutoires était inférieur à 10 pour les capacités <17500 m³/d, une note de 1 a été donnée pour les capacités de >2500 m³/d et de 2500 à 17500 m³/d. Le nombre d'exutoires allait jusqu'à la centaine pour les stations de 17500 m³/d et plus. C'est pourquoi une cote de 3 lui a été accordée.

De plus, le **type de stations d'assainissement** peut également influencer les impacts des inondations. Certains types de stations semblent comporter plus d'installations de surverse que d'autres. Par le même raisonnement que pour la capacité des stations, plus un réseau d'égouts possède d'exutoires pour les débordements, plus il sera propice à la contamination de l'environnement par des surverses. Pour évaluer ce critère, il a été considéré que les réseaux étaient tous unitaires afin de rester sécuritaire dans l'analyse et de prendre le scénario critique pour l'intensité de l'impact. Ainsi une cote de 3 a été attribuée à tous les types de stations pour ce critère. Il aurait cependant été intéressant d'avoir les données sur le pourcentage de ces types de stations d'épuration qui sont composés de réseaux unitaires, sanitaires et semi-séparatifs pour caractériser davantage l'intensité de l'impact. De plus, il a été décidé de conserver une étendue d'impact locale puisque les contaminations régionales de grande intensité sont plutôt rares. Par conséquent, une note de 1 a été donnée pour le critère de l'étendue de l'impact, et ce pour tous les types de stations. Pour la probabilité d'occurrence, tous les types de stations avec un nombre d'exutoires de moins de 10 ont été cotés 1, ceux entre 10 et 40 ont été notés 2 et ceux de plus de 40 ont été coté 3. Les stations de type Biofiltration et physico-chimiques se démarquaient du lot avec plus de 40 installations de surverse suivi des boues activées avec 14 exutoires.

Une **réglementation** pour la prévention **des rejets des réseaux d'égouts** en cas d'inondation est présente au Québec. On retrouve notamment les plans d'aménagement et d'urbanisme des municipalités ainsi que les normes provinciales et fédérales des rejets des réseaux d'égouts. Cependant, les normes pourraient être plus sévères et mieux appliquées. Pour le moment, elles sont établies selon le type de stations et c'est pourquoi le taux d'efficacité comme énoncé dans le tableau 2.10 est élevé. Il n'est cependant pas synonyme d'efficacité et une station d'égouts unitaire devrait connaître les mêmes critères d'effluent qu'une autre station unitaire ou qu'un réseau sanitaire sur le plan des surverses. Pour ces raisons, une note de -1 a été attribuée à ce critère.

Troisièmement, pour l'aspect de la **sensibilité du milieu**, trois facteurs ont été ressortis de la recherche dans la littérature scientifique : la dimension biotique, la dimension écologique et la dimension abiotique. Tout d'abord, la **dimension biotique**, comme mentionnée dans le chapitre 2.3, est favorable à la résilience écosystémique des écosystèmes lorsqu'elle est variée en espèces, qu'elle comporte une diversité génétique au sein d'une même espèce et qu'elle est composée de plusieurs habitats qui forment une multitude d'écosystèmes. Selon ce raisonnement les facteurs ont été notés comme suit :

- **Présence d'espèces en voie de disparition** : Lorsqu'une espèce en voie de disparition est affectée par une inondation, les conséquences sont souvent irréversibles puisque la grosseur de la population n'est plus viable pour la reproduction. Les dommages encourus sur l'environnement sont alors très grands et peuvent affecter les autres écosystèmes dans lesquelles l'espèce a un rôle à jouer à une échelle régionale. Le Québec comporte des espèces en voie de disparition, et ce principalement dans la région géologique des Basse-Terres du Saint-Laurent, où l'on retrouve beaucoup de cours d'eau. C'est pourquoi un pointage de 3 a été noté pour l'intensité de l'impact, une note de 2 pour l'étendue de l'impact et une cotation de 3 pour la probabilité d'occurrence au Québec.
- **Présence d'espèces menacées** : Une espèce menacée est moins fragile qu'une espèce en voie de disparition. Sa population est tout de même faible et cela peut prendre des dizaines d'années avant de pouvoir la rétablir. Elle peut donc être facilement disséminée. Les impacts engendrés durant et après une inondation sont grands puisque les interactions à l'intérieur et à l'extérieur de l'écosystème liées à cette espèce, si celle-ci se voit réduire, sont ralenties à cause du manque de population efficace. Le Québec comporte des espèces menacées, et ce principalement dans la région géologique des Basse-Terres du Saint-Laurent, où l'on retrouve beaucoup de cours d'eau. La probabilité qu'une inondation affecte une espèce menacée est donc élevée. De plus, les dommages peuvent s'étendre sur les territoires voisins puisque les écosystèmes sont liés entre eux. Pour ces raisons, les notes de 2, 2, 3 ont été attribuées respectivement aux critères de l'intensité d'impact, l'étendue de l'impact et la probabilité d'occurrence au Québec.
- **Présence d'espèces préoccupantes ou vulnérables** : Les espèces préoccupantes ou vulnérables sont des espèces qui ont vu leur population diminuer sur une courte période de temps. Leur existence n'est pas menacée, mais elles doivent être surveillées pour éviter qu'elles s'affaiblissent. Dans le cas d'une inondation, l'impact encouru risque d'être négligeable et réversible. C'est pourquoi une note de 0 a été accordée pour le critère de l'intensité de l'impact. Puisque les impacts sont négligeables, les interactions entre les écosystèmes ne seront pas beaucoup affectées et l'étendue de l'impact sera moindre que pour les espèces menacées. Ils pourront tout de même toucher les territoires voisins et c'est pour cette raison qu'une cote de 1 a été notée pour le critère de l'étendue de l'impact. Tout comme pour les espèces menacées et en voie de disparition, le Québec comporte des espèces préoccupantes et vulnérables, et ce principalement dans la région géologique des Basse-Terres du Saint-Laurent, où l'on retrouve beaucoup de cours d'eau. Par conséquent, une note de 3 a été accordée pour la probabilité d'occurrence au Québec.
- **Territoire avec moins de 30% de couvert végétal** : Comme mentionnée dans le chapitre 2.3, il s'agit du seuil critique d'érosion de la faune ou la flore où la biodiversité descend sous la barre du

80%. Lorsque ce seuil est franchi, la dégradation du milieu est irréparable et l'écosystème dépérit. Les interactions avec les écosystèmes adjacents sont également touchées et par conséquent l'étendue de l'impact est à grande échelle et peut s'étendre au-dessus de 15 km de rayon. Les grandes villes telles que Montréal, Laval, Longueuil, Québec ont perdu plus de 30% de leur couvert végétal à certains emplacements et elles se situent toutes à proximité d'un cours d'eau, soit le fleuve Saint-Laurent. Les inondations y sont donc grandement fréquentes. Pour ces raisons, les notes de 3, 2, 3 ont été attribuées respectivement aux critères de l'intensité d'impact, l'étendue de l'impact et la probabilité d'occurrence au Québec.

Ensuite, pour le facteur de la **dimension écologique**, quatre facteurs sont étudiés : la présence de couloirs écologiques, l'urbanisation, la présence de milieux humides et les terrains protégés. La logique derrière la notation de ces facteurs est la suivante :

- **Couloirs écologiques** : Les couloirs écologiques améliorent les interactions entre les écosystèmes, augmentent la biodiversité et permettent à la faune de se déplacer si une perturbation telle qu'une inondation l'affecte. Ces connectivités entre les habitats ont donc un impact positif majeur et régional sur la résilience des milieux aux inondations. Plusieurs projets de couloirs écologiques sont en cours de formation sur le territoire géographique des Basse-Terres du Saint-Laurent pour diminuer la pression anthropique sur les espèces et l'impact positif est fréquent. Pour ces raisons, les cotes de -3, -2 et 3 ont été attribuées respectivement aux critères de l'intensité d'impact, l'étendue de l'impact et la probabilité d'occurrence au Québec.
- **Urbanisation** : L'urbanisation, soit l'imperméabilisation des sols par la construction de routes, de bâtiments ou de structures, entraîne une perturbation de l'environnement et augmente les impacts sur la biodiversité en diminuant la rétention de l'eau et des contaminants dans les sols. De plus, l'urbanisation nécessite le défrichement des terres et le remaniement des sols et contribue à l'atteinte du seuil d'érosion de la biodiversité. Les dommages restent cependant souvent réversibles par le réaménagement. L'urbanisation accroît également le risque d'inondation localement comme expliqué précédemment dans le document. C'est pourquoi les notes de 2, 1 et 3 ont été attribuées respectivement aux critères de l'intensité d'impact, l'étendue de l'impact et la probabilité d'occurrence au Québec.
- **Présence de milieux humides** : Les milieux humides permettent la filtration des contaminants dans l'eau et l'emménagement de l'eau. Leur présence diminue ainsi les risques d'inondation non pas seulement localement, mais sur plusieurs kilomètres. Le Québec possède des milieux humides et un organisme les caractérise afin qu'on puisse les protéger et utiliser leurs services naturels. Par

conséquent, les notes de -2, -1 et 3 ont été attribuées respectivement aux critères de l'intensité d'impact, l'étendue de l'impact et la probabilité d'occurrence au Québec.

- **Présence de terrains protégés** : Les terrains protégés permettent la conservation des milieux fragiles et limitent les perturbations anthropiques. Les interactions entre les écosystèmes adjacents se voient alors sécuriser. Il a cependant été constaté que ce ne sont pas nécessairement les terrains qui nécessitent de la protection qui sont conservés au Québec et que le gouvernement ne peut pas protéger des terres privées sans le consentement du propriétaire. Pour ces raisons, les cotes de -2, -2 et 2 ont été attribuées respectivement aux critères de l'intensité d'impact, l'étendue de l'impact et la probabilité d'occurrence au Québec.

Finalement, pour le facteur de la **dimension abiotique**, plusieurs informations sont manquantes pour pouvoir évaluer le risque d'impacts que ces facteurs peuvent engendrer. Le seul critère qu'il est possible d'évaluer pour chacun des facteurs est l'étendue de l'impact puisque les caractéristiques d'un sol sont très variables et les bénéfices ou désavantages sont valables pour une échelle locale. Le facteur pour lequel des cotes ont pu être déterminées est le facteur de la **granulométrie (type de sol)**. Comme indiqué dans les tableaux 2.12 et 2.13, les argiles, s'il n'y a pas risque de boulangerie, sont favorables à la rétention des contaminants lors du retrait des eaux d'une inondation. Les impacts sont cependant minimes puisque souvent les eaux se retirent trop rapidement pour décanter les contaminants dans le sol. Pour ces raisons, les cotes de -1, -1 et 2 ont été attribuées respectivement aux critères de l'intensité d'impact, l'étendue de l'impact et la probabilité d'occurrence au Québec pour la granulométrie fine. Un raisonnement semblable et les mêmes tableaux ont été utilisés pour évaluer les facteurs de granulométrie moyenne et grossière.

La **réglementation** qui entoure la **sensibilité des milieux récepteurs**, comme indiqué dans la section 2.4.3, est principalement axée sur la protection des espèces en déclin. Les aléas d'inondations ne sont pas intégrés à ces lois explicitement et la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* n'oblige aucune action de prévention des inondations ou le renforcement de la résilience aux inondations à l'exception de la caractérisation des zones inondables par les municipalités. De plus, plusieurs municipalités ne respectent pas encore les exigences de la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*. Les milieux humides sont cependant bien protégés dans la LQE et ils pourront désormais être davantage utilisés pour leurs services naturels en gestion de l'eau. Quant à la protection des milieux d'importances par la mise en place d'une zone protégée, l'existence de ces milieux en terrain privé rend les démarches de protection plus difficile et un accord avec le propriétaire doit être fait. Des moyens d'incitation sont cependant mis en place pour augmenter le nombre d'adhérents. Ainsi, la réglementation n'est pas inexistante. Cependant, des éléments pourraient y être ajoutés pour mieux encadrer la problématique des inondations.

4.3 Analyse critique des résultats

Tout d'abord, un élément marquant de l'analyse multicritère effectuée est qu'il manque beaucoup d'informations importantes pour l'évaluation de certains facteurs. Par conséquent, l'influence de l'âge des installations industrielles et des réseaux d'égouts n'a pas pu être évaluée quantitativement sur le plan des risques d'impacts lors d'inondations. Il en est de même pour la plupart des facteurs de la dimension abiotique de la sensibilité des milieux récepteurs. Ainsi une recherche documentaire supplémentaire aurait pu aider à améliorer la représentativité de la situation des indicateurs d'impact pour les inondations.

Ensuite, une demande d'accès à l'information aurait également pu être envoyée au gouvernement du Québec pour obtenir la documentation en lien avec la quantité de stations d'assainissement reliée à des systèmes d'égouts unitaires, semi-séparatifs et sanitaires. L'information sur la quantité de chaque type de station d'assainissement reliée à des systèmes d'égouts unitaires, semi-séparatifs et sanitaires et la quantité de chaque volume de station d'assainissement relié à ces mêmes systèmes aurait également été pertinente pour améliorer l'analyse multicritère et la représentativité des résultats. En effet, il est fort probable que les types de stations physico-chimiques, de biofiltration et de boues activées ainsi que les stations qui comportent un débit supérieur à 17500m³/de soient des facteurs significatifs puisqu'une majorité de ces stations sont unitaires ou semi-séparatives. Cependant, cette hypothèse ne peut pas être vérifiée avec les informations relevées de la documentation consultée. De plus, la demande d'accès à l'information aurait également permis d'obtenir des données plus à jour pour l'analyse puisque les données n'ont pas été publiées depuis 2014. Malheureusement, ce type de demande peut prendre beaucoup de temps avant d'être rempli et cela ne concordait pas avec la durée de cet essai.

De plus, en ce qui a trait aux indicateurs de risque d'impact majeur ayant été ciblés dans l'analyse multicritère, ils semblent adéquats et ils concordent avec les éléments ressortis de la revue de littérature sur le sujet des inondations et de l'environnement. Cependant, même si les types d'industries ne comportent pas un niveau de risque assez élevé pour être considéré comme significatif, il s'agit tout de même de facteurs importants à prendre en compte dans la gestion des inondations. En effet, les dommages d'un accident Natech peuvent être dévastateurs, et ce, selon la substance en cause dans l'évènement. Même s'il n'y a que 2 à 4% de chance qu'un tel évènement se produit, il est préférable de prévenir la catastrophe en agissant sur les possibles causes plutôt que d'essayer de nettoyer les dégâts à la suite de son occurrence. De plus, l'indicateur du type d'industrie et de contaminants impliqué dans l'inondation est une information essentielle à la décontamination ou gestion de la restauration du site après sinistre. Sur une carte de zone à risque de pollution pour les inondations, il pourra être indiqué que les industries les plus à risque sont : Industries pétrochimiques et raffineries, Industries de distribution en gros et au détail/entreposage et Industries agricoles. Ensuite, on retrouve à un niveau de risque inférieur les industries suivantes : Industries

de transformation des métaux, Mines, Fabricants de produits chimiques fins et Fabricants de produits chimiques généraux. Finalement, le moins grand risque est pour les industries de production et d'entreposage d'explosifs.

Pour terminer, il est possible de constater que la réglementation ne joue pas un rôle décisif dans le choix des indicateurs. Effectivement, la réglementation est présente dans chacun des aspects étudiés, mais elle nécessite d'être perfectionnée pour incorporer la problématique des inondations de façon plus explicite. De plus, la gestion doit être mieux encadrée afin de promouvoir la prévention plutôt que la restauration. Les indicateurs établis dans cet essai permettent de cerner les éléments sur lesquels se concentrer avant tout. Dans le prochain chapitre, des recommandations sont proposées dans le but de prévenir et contrôler les impacts majeurs de ces facteurs.

5. RECOMMANDATIONS DE MÉTHODES DE GESTION POUR LE QUÉBEC

Une bonne gestion de la pollution causée par les inondations nécessite d'abord la caractérisation des risques d'inondations ainsi que l'évaluation des causes des dommages sur l'environnement. L'objectif de cet essai était de déterminer les facteurs de contamination majeurs dans la province du Québec lors d'une inondation. Plus spécifiquement, il encadrait la pollution causée par les rejets industriels et les rejets des réseaux d'égouts ainsi que l'influence de la sensibilité des écosystèmes récepteurs de la pollution. Une analyse multicritère basée sur le risque a été effectuée pour orienter la planification d'urgence et la prévention de la pollution lors des inondations. Suite à cette étude, il a été possible de constater que certains éléments sont plus problématiques que d'autres en ce qui a trait aux risques de pollution majeure provoqués par les inondations au Québec. D'autres facteurs sont quant à eux bénéfiques à la résistance des écosystèmes en présence de la submersion des eaux et de la contamination qui y est véhiculée. Cette hiérarchisation des facteurs de risques est essentielle à la gestion des inondations puisqu'elle aide à déterminer les éléments prioritaires sur lesquelles travailler pour diminuer les impacts environnementaux des inondations dans la province. De plus, ces indicateurs d'impacts majeurs permettent d'évaluer facilement les territoires pour lesquels la submersion des sols a de fortes chances de nécessiter une intervention d'urgence. Par conséquent, il est plus efficace d'intervenir sur ces facteurs plutôt que d'autres dont les probabilités d'occurrences et la gravité sont moindres. La présence de ces indicateurs d'impacts doit être évaluée pour chacun des bassins versants.

Un autre élément qui peut être ressorti de cette étude est que, lorsque l'étape de la définition des risques est complétée, des actions de mitigation peuvent être ciblées pour atténuer ou éliminer les dommages les plus à risque. Comme expliqué au travers de la littérature scientifique sur le sujet, il existe trois façons d'atténuer les impacts de ces indicateurs selon la méthode multicouche des Pays-Bas :

- ✓ Agir sur la réduction de la probabilité d'occurrence des inondations ou, dans le cas du présent essai, de la contamination causée par les inondations;
- ✓ Adapter l'espace pour diminuer les impacts des inondations et par le fait même la pollution;
- ✓ Créer des plans d'urgence et de remise en état des lieux pour diminuer les dommages à long terme.

Ces trois types d'action doivent être appliqués conjointement afin d'encadrer efficacement la problématique et assurer une prévention des répercussions. Elles peuvent être réalisées à l'aide d'une réglementation adéquate, d'une participation et d'une implication des différentes parties prenantes au niveau des bassins versants ainsi que, principalement, à l'aide de la reconnaissance par le gouvernement et la population que les inondations sont une problématique environnementale actuelle de haute importance qui va prendre de l'ampleur avec les changements climatiques.

En se basant sur les pratiques internationales innovantes en matière d'atténuation des répercussions des inondations ainsi que sur les indicateurs d'impacts majeurs, les recommandations suivantes sont proposées pour outiller la province à faire face à ce type de catastrophes naturelles :

1. **Améliorer les indicateurs de risque majeur déterminés en effectuant de la recherche supplémentaire.** En effet, comme expliqué dans l'analyse critique des résultats, les indicateurs basés sur le volume de la station d'épuration ainsi que sur le type de station d'épuration peuvent être influencés par l'indicateur du réseau d'égouts unitaire ou semi-séparatif. Ainsi, il est important d'évaluer si les stations de plus de 17500 m³/d et les stations de boues activées, de biofiltration ainsi que de style physico-chimique sont des facteurs significatifs d'impacts seulement parce qu'ils sont majoritairement connectés à des réseaux d'égouts unitaires. De plus, le facteur de l'âge des installations est probablement un indicateur important, mais le manque d'informations et d'études trouvées à ce sujet n'a pas permis d'évaluer le risque. Il serait donc pertinent d'approfondir la recherche dans la littérature scientifique pour pouvoir inclure ce paramètre dans l'analyse multicritère. Pour terminer avec cette recommandation, les forêts à caractères exceptionnels n'ont pas été prises en compte dans l'analyse multicritère puisque l'impact des inondations sur celles-ci semblait atteindre la pérennité des écosystèmes de façon trop indirecte. Cependant, elles pourraient tout de même constituer un indicateur significatif pour la sensibilité d'un milieu frappé par des inondations et il serait intéressant d'étudier les répercussions sur l'environnement;
2. **Élaborer le profil de risque d'inondations de chacun des bassins versants en évaluant la présence et la portée des indicateurs significatifs (résultats de l'analyse multicritère) sur le milieu étudié. Cette démarche doit être obligatoire par la loi pour tous les bassins versants.** Ce profil nécessite d'établir et de cartographier les zones inondables actuelles (récurrence de 5, 10, 20 et 100 ans), les zones inondables potentielles dues à l'amplification des précipitations et la montée des océans (récurrence de 5, 10, 20 et 100 ans) et de géolocaliser les indicateurs de risque d'impacts majeurs déterminé dans cet essai. Les bases de données mentionnées dans le chapitre 2 seront alors utiles pour localiser et évaluer la portée des indicateurs. La cartographie des zones inondables a déjà débuté dans plusieurs municipalités puisqu'elle est requise dans les plans d'urbanisme et d'aménagement du territoire en vertu de la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*. Cette information pourrait être utilisée dans la création des profils de risque d'inondations. Cette tâche de caractérisation devrait être accomplie par les organismes de bassin versant (OBV) en collaboration avec les municipalités afin de bien encadrer la problématique du bassin. Ils seraient donc importants d'accroître le financement des OBV pour l'accomplissement de cette tâche additionnelle. La province et les municipalités peuvent s'aider du *Programme national*

d'atténuation des catastrophes pour financer ces activités. Les plans créés pourront servir dans la gestion des inondations et doivent être mis à jour maximalelement aux 6 ans comme il est prescrit dans la « directive inondation » en Europe pour conserver la validité des plans;

3. **Établir à priori les niveaux de risque de chacun des indicateurs afin d'uniformiser les profils de risque des différentes régions.** Ces cotes doivent être inscrites dans la réglementation sur la création des profils de risque d'inondation. Les cotes obtenues à l'aide de l'analyse multicritère de cet essai pourraient être employées. L'important est de conserver la hiérarchie des facteurs les plus possiblement dommageables et de leur accorder un risque positif, contrairement aux indicateurs des facteurs qui améliore la résistance aux inondations. Ceux-ci doivent comporter un risque négatif puisqu'il atténue les impacts sur les écosystèmes. Chaque zone du bassin versant pourrait alors comporter une cote de risque déterminée par l'addition de la valeur des indicateurs qui s'y trouvent;
4. **Diviser les indicateurs d'impacts d'outils de stockage en différents niveaux de risque de manière à inclure le type de substances dangereuses dans l'analyse.** Cette action nécessite le changement de la clause de confidentialité de la loi sur la protection de l'environnement afin de géolocaliser les substances dangereuses stockées sur le territoire de la province. Cette information est actuellement manquante à l'analyse et est pourtant essentielle à une bonne gestion de risque. En effet, le risque de contamination le plus élevé pour les entreprises en cas d'inondation proviennent des réservoirs hors terre et à toit flottant, mais ce ne sont pas tous les réservoirs hors terre et à toit flottant qui contiennent des contaminants toxiques pour l'environnement. Il faut perfectionner le profil de risque et cibler les facteurs qui constituent un réel potentiel de contamination;
5. **Rendre publiques et accessibles à la population les informations sur le profil de risque d'inondations et les zones inondables en créant un site web facile d'utilisation.** Le site web peut s'inspirer de ce qui est fait en Angleterre et permettre la divulgation des risques d'inondations par la simple entrée d'une adresse. Cette action sensibilise les citoyens et les entreprises aux répercussions de leurs choix de s'installer à proximité d'un cours d'eau avec risque d'inondations. L'accès à l'information nécessite de modifier les clauses de confidentialité de la *Loi sur la Protection de l'environnement*;
6. **Cibler les villes avec un système d'égouts unitaires et/ou semi-séparatifs et instaurer un programme de financement pour le remplacement de ces systèmes par un réseau séparatif et/ou pour la prévention des débordements.** La prévention des débordements peut prendre plusieurs formes. Parmi celles-ci, on retrouve par exemple la sensibilisation des citoyens et des industries sur l'utilisation de l'eau en période de crues et de précipitations intenses, l'installation de toits verts pour favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol, le verdissement des villes par la création

de parcs avec des bassins de rétentions ou des places publiques qui se transforment en bassin d'eau de pluie, et la fabrication de bassins d'orage pour diminuer la concentration en contaminants des surverses;

7. **Établir une réglementation nationale pour une zone tampon obligatoire entre les constructions et les cours d'eau à haut risque d'inondation avec une interdiction d'édification et d'entreposage de substances dangereuses.** Ne pas accepter, sous aucune condition, la reconstruction dans ces zones. Ces zones tampons pourraient être aménagées de façon à les rendre accessibles au public en période d'été. Cette action permet de redonner à la population l'accès à ces cours d'eau tout en diminuant les risques de contamination lors d'inondations, comme le projet Madrid Rio. De plus, un milieu naturel accroît l'infiltration sur place de l'eau de pluie, diminue les risques d'inondation et augmente la biodiversité du milieu ce qui accroît la résilience écologique;
8. **Introduire une réglementation pour contraindre les entreprises avec des réservoirs de substances toxiques et dangereuses hors terre ou à toit flottant à prendre en compte le risque d'inondation de leur industrie, à préparer un plan de prévention des inondations et un plan d'urgence en cas de fuite de ce réservoir à l'image de la norme ISO 14001.** Le plan doit inclure des mesures d'atténuation de la pollution comme le confinement de la contamination sur le site, l'entretien des réservoirs, la protection du site contre les inondations avec des murs, l'utilisation de réservoirs flottants ou de matériaux résistant aux inondations, etc.);
9. **Stimuler et aider les municipalités à privilégier un urbanisme vert, où le développement urbain conserve un minimum de 30% de son couvert végétal et de son sol naturel.** Cette initiative diminue les perturbations anthropiques sur les écosystèmes et évite une chute de la biodiversité, par conséquent de la résilience écologique. Des incitatifs financiers pourraient être accordés aux municipalités qui respectent ce critère et qui favorisent la conservation (ou la création dans le cas de plus vieilles villes) de couloirs écologiques. La population recherche de plus en plus la verdure et cela augmente la valeur foncière des habitations entourées de nature. Ainsi, le verdissement est à l'avantage des villes;

Dans une perspective à plus grande échelle et à plus long terme de gestion par prévention des risques d'inondation, le modèle des Pays-Bas est un exemple à suivre. C'est pourquoi les propositions suivantes sont à considérer afin d'actualiser la législation et les procédures de gouvernance des inondations dans la province :

10. **Implanter une réglementation semblable au *Programme Delta* des Pays-Bas qui exige la mise en place d'un plan de gestion des risques d'inondation par bassin versant.** Ce plan d'action doit encadrer la prévention des inondations et des impacts (prévision des inondations), la protection de

la population et de l'environnement (encouragement à des modes durables d'occupation des sols, amélioration de la rétention de l'eau dans les quartiers, inondation contrôlée de certaines zones en cas de crue) et la préparation à d'éventuelles situations d'urgence (système d'alerte précoce pour chacun des bassins versants, plan d'urgence en cas de libération de substances dangereuses ou d'incident Natech). Le plan d'action doit se centrer sur la prévention des impacts des indicateurs significatifs déterminés dans cet essai afin d'encadrer les éléments les plus problématiques au Québec lors des inondations;

11. **Employer l'approche ADM dans la création du plan de gestion des risques d'inondation basée sur les indicateurs déterminés dans cet essai.** Cette approche nécessite, comme déjà expliquée, d'étudier et d'inclure plusieurs scénarios d'évolution des inondations du bassin versant dans le plan d'action afin de prendre en compte les incertitudes liées aux changements climatiques. Ces scénarios doivent être associés à des actions à court, moyen et long terme qui permettent la mitigation des inondations. Les différentes interventions doivent être liées à un indicateur ATP qui indique lorsque les objectifs de prévention des risques et de sécurité ne sont plus comblés et qu'une action alternative doit débiter. Ce plan d'action devra également être mis à jour au maximum tous les 6 ans et respecter la hiérarchie de l'approche multicouche pour la gestion du risque qui consiste à travailler sur le problème des inondations sous trois aspects différents : la réduction de la probabilité d'occurrence des inondations, l'adaptation de l'espace pour diminuer les impacts des inondations et la création de plans d'urgence et de remise en état des lieux;
12. **Débuter par l'organisation de projets pilotes.** En effet, la méthode ADM étant complexe et nouvelle pour le Québec, des projets pilotes peuvent d'abord être implantés dans des bassins versants problématiques avec des inondations récurrentes ou des territoires grandement urbanisés comme Montréal. Cette procédure d'organisation prend exemple sur la Chine et son projet pilote de villes éponges qui permet d'ajuster le programme au fur et à mesure de l'avancement du projet tout en prenant de l'expérience. Le financement par l'état est primordial pour la bonne réussite du plan de gestion des risques d'inondation. La mise en place graduelle et par projet pilote de cette réglementation permet d'alléger les coûts pour l'état et de préparer les territoires avec moins de ressources à l'arrivée de cette nouvelle obligation. Les municipalités, les OBV, les industries et le gouvernement doivent travailler de concert pour la réussite de ce projet. Chacun des acteurs doit également s'engager à un niveau légal pour l'accomplissement des actions qui leur sont dédiées.

Ces recommandations requièrent la responsabilisation de la province en ce qui a trait à la problématique des inondations et la volonté d'investir dans une vision à long terme de réduction des répercussions. Ceci demande l'engagement de coûts majeurs dans les premières années, mais permettra de sauver de l'argent à

long terme sur la réhabilitation et le dédommagement de la population pour les pertes encourues lors des inondations. Effectivement, la gestion par mesure d'urgence revient moins chère à court terme, mais les prix s'additionnent d'année en année, d'évènement en évènement, pour former des sommes faramineuses. Il ne faut surtout pas oublier les détresses psychologiques, les épidémies, ainsi que les blessés que les mesures de prévention de catastrophes environnementales permettent d'éviter. Ces éléments sont d'un point de vue éthique plus important que le capital.

CONCLUSION

Pour conclure, les inondations sont à la base un phénomène bénéfique pour certains écosystèmes. Cependant, l'urbanisation, qui s'est faite généralement à proximité des cours d'eau, a donné une tout autre dimension à ces événements naturels qui sont devenus le véhicule de plusieurs contaminants toxiques. En effet, les activités anthropiques (industrielles, commerciales ou résidentielles) d'une ville sur un territoire déterminé génèrent, stockent ou libèrent des contaminants divers qui peuvent être transportés lors des aléas d'inondations sur de longues distances. Ces contaminants externes s'introduisent dans les écosystèmes et les détériorent à un degré qui dépend de la nature de la pollution et de la sensibilité de l'écosystème. Les scientifiques sont maintenant de commun accord pour affirmer que les changements climatiques vont avoir pour effet d'accroître la fréquence des inondations au Québec. Puisque le réseau hydrographique est grandement développé dans la province, les zones qui seront submergées temporairement et ainsi polluées lors de ces événements sont nombreuses. Pour l'instant, seuls des plans d'urgences et des plans de zones inondables ont été développés en termes de gestion des inondations. Cependant, plusieurs actions peuvent être effectuées par les différents acteurs de cette problématique, soit le gouvernement, les municipalités, la population, les scientifiques et les industries, pour contrer et prévenir ces effets néfastes sur l'environnement.

Les impacts des inondations constituent donc une problématique actuelle pour laquelle peu de ressources ont présentement été mises en place au Québec pour la contrer. Les acteurs précédemment nommés commencent à planifier des projets de gestion des inondations, mais les programmes nécessitent encore des améliorations. Dans le but de contribuer à cette émergence de conscientisation et d'améliorer la prévention de la contamination due aux inondations, l'objectif de cet essai était de proposer des recommandations basées sur des indicateurs de risque pour la gestion de la pollution des écosystèmes causée par les inondations au Québec. L'essai se concentrait sur trois éléments de cette problématique soit les rejets des industries, les rejets des réseaux d'égouts et la sensibilité des milieux récepteurs. Une analyse multicritère a été effectuée pour déterminer les indicateurs de risque d'impacts majeurs de ces trois aspects. La hiérarchisation a été évaluée selon les critères de la gravité des dommages qu'ils causent sur l'environnement, leur probabilité d'occurrence au Québec et la réglementation en place pour les contrôler.

Les indicateurs qui ont été obtenus pour les rejets des industries sont la présence de réservoirs de stockage de substances dangereuses ou toxiques hors terre ou à toit flottant (cote de risque de 8). Pour ce qui est des rejets des réseaux d'égouts, les indicateurs d'impacts significatifs qui sont ressortis sont la présence d'un réseau d'égouts unitaire ou semi-séparatif (cote de risque de 12), l'existence sur le territoire d'une station d'épuration d'une capacité supérieure ou égale à 17500 m³/d (cote de risque de 15) et/ou de type boues activées (cote de risque de 8), biofiltration (cote de risque de 12) ou physico-chimique (cote de risque de

12). Finalement, l'analyse multicritère employée sur la catégorie de la sensibilité des milieux récepteurs a résulté en des indicateurs d'impacts significatifs, mais aussi en des indicateurs d'éléments bénéfiques à la résilience écosystémique en cas d'inondation. Les facteurs d'impacts majeurs qui ont été ciblés sont l'occurrence d'espèces en voie de disparition (cote de risque de 15) et d'espèces menacées (cote de risque de 12), la dévégétalisation de plus de 70% d'un territoire (cote de risque de 15) et la présence d'urbanisation (cote de risque de 9). Les indicateurs bénéfiques à la résilience écosystémique sont, quant à eux, la construction ou conservation de couloirs écologiques (cote de risque de -15), l'existence de milieux humides dans le milieu récepteur (cote de risque de -9) et la protection de certaines zones du territoire (cote de risque de -8).

Ce bilan des causes de répercussions prépondérantes a permis de proposer 12 recommandations pour la gestion des risques des inondations au Québec. Les neuf premières visent le perfectionnement et l'utilisation des indicateurs de risque déterminés. Les trois dernières s'appliquent à la mise en place d'une méthode de gestion plus globale des inondations au Québec en s'inspirant des pays innovateurs dans le domaine. Ainsi, dans le cas des indicateurs de risques, il est recommandé d'effectuer de la recherche scientifique supplémentaire afin de combler les vides dans l'analyse multicritère, d'attribuer aux indicateurs des niveaux de risques qui seront utilisés par les OBV dans l'élaboration des profils de risque d'inondations de leur région, de rendre obligatoire par la loi l'évaluation de la présence et de la portée des indicateurs significatifs pour tous les bassins versants, de diviser les indicateurs d'impacts d'outils de stockage en différents niveaux de risque de manière à inclure le type de substances dangereuses dans l'analyse, de rendre publiques et accessibles à la population les informations sur le profil de risque d'inondation à l'aide d'un site web, de cibler les villes avec un système d'égouts unitaire et/ou semi-séparatif et instaurer un programme de financement pour le remplacement de ces systèmes par un réseau séparatif et/ou pour la prévention des débordements, de mettre en place une réglementation nationale pour une zone tampon obligatoire entre les constructions et les cours d'eau à haut risque d'inondation avec une interdiction d'édification et d'entreposage de substances dangereuses, d'introduire également une réglementation pour contraindre les entreprises avec des réservoirs hors terre ou à toit flottant à préparer un plan de prévention des inondations et un plan d'urgence en cas de fuite de ce réservoir à l'image de la norme ISO 14001 et, finalement, de stimuler et aider les municipalités à privilégier un urbanisme où le développement urbain conserve un minimum de 30% de son couvert végétal et de son sol naturel. Les trois dernières recommandations proposent l'implantation par projets pilotes d'une réglementation semblable au *Programme Delta* des Pays-Bas et qui exige la mise en place d'un plan de gestion des risques d'inondation par bassin versant à l'aide de l'approche ADM et des indicateurs révélés par cet essai. Ces initiatives permettront d'assurer une prévention minimale des risques sur l'environnement tout en considérant l'incertitude liée aux contre-coups des changements climatiques sur les inondations. En effet, l'ampleur de l'augmentation des

précipitations, de leurs intensités et de la fonte des glaces n'est pas encore définie, et les dommages pourraient bien dépasser toutes nos attentes.

Pour terminer, seule la contamination soluble a été prise en compte dans cette analyse. Cependant, les inondations transportent également de la pollution solide telle que des matières résiduelles putrescibles, du plastique, etc. Ces corps déplacés de leurs lieux d'entreposage pourraient également entraîner des répercussions sur l'environnement et la société, surtout si les lieux ne sont pas nettoyés suite à l'aléa. Cet aspect pourrait être étudié pour évaluer son importance dans la problématique au Québec, tout comme l'implication de la pollution en provenance lieux d'enfouissement lors des inondations dans la province.

RÉFÉRENCES

- Administration de la gestion de l'eau (AGE) (2014). Fonctionnement d'un bassin d'orage. Repéré à https://eau.public.lu/eaux_usees_pluviales/assainissement/bassin_orage/index.html
- AGÉCO (2013). Le capital écologique du Grand Montréal : Une évaluation économique de la biodiversité et des écosystèmes de la Ceinture verte. Québec, Canada : fondation David Suzuki.
- Agwaramgbo, L., Gonzales, C. R., Mielke, H. W., Rotkin-Ellman, M. et Solomon, G. (2009). Arsenic contamination in New Orleans soil: *Temporal changes associated with flooding*. *Environmental Research*, 110 (2010), 19–25.
- Alvarez, P., Leroux, M-H., De Marcellis-Warin, N, Peignier, I. et Trépanier, M. (2008). *Portrait des activités de stockage et de transport liées aux matières dangereuses* (Rapport de projet). Montréal, Québec, Canada : Cirano.
- American Society of Landscape Architects (2016). Bishan-Ang Mo Kio Park. Repéré à <https://www.asla.org/2016awards/169669.html>
- Antidote 9 : Correcteur – dictionnaire - guide*. (2017). Montréal, Canada : Druide
- Antonioni, G., Bonvicini, S., Cozzani, V. et Spadoni, G. (2009). Development of a framework for the risk assessment of Na-Tech accidental events. *Reliability Engineering and System Safety*, 94 (2009), 1442–1450.
- Badin, A-L et all. (2013). Pollution d'origine routière et environnement de proximité. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]*, Hors-série (15). Repéré à <http://vertigo.revues.org/12775#authors>
- Berteaux, D. (2014). *Changements climatiques et biodiversité du Québec : vers un nouveau patrimoine naturel*. Québec, Canada : Presses de l'Université du Québec
- Berthelot, J-S. (2014). *Structure et évolution des peuplements riverains en fonction des zones de récurrence d'inondations (bassin centre-sud du Québec)* (Mémoire de maîtrise). Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, Québec, Canada.
- Bérubé, G. (2017). Saint-Jean, un laboratoire sur la gestion des risques d'inondation. Repéré à <https://www.canadafrancais.com/saint-jean-un-laboratoire-sur-la-gestion-des-risques-dinondation/>
- Bilotta, G. S., & Brazier, R. E. (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water research*, 42(12), 2849-2861.
- Biron, P. et Buffin-Bélanger, T. (2017). Des exemples inspirants pour la gestion du risque d'inondation. Repéré à https://quebec.huffingtonpost.ca/pascale-biron/exemples-gestion-risque-inondation_b_16810232.html
- Bolduc, G. (2016). Un important investissement gouvernemental de près de 1 M\$ de dollars : L'INRS développe un nouvel outil d'analyse et de gestion du risque d'inondation. Repéré à <http://www.ete.inrs.ca/actualites/inrs-developpe-nouvel-outil-analyse-gestion-risque-inondation>

- Boudreau, L., Sinotte, M. ET Defo, M-A (2015). Développement de critères de qualité d'eau de surface pour les hydrocarbures pétroliers – réalisé dans le cadre de l'évaluation environnementale stratégique (Étude AENV14). Repéré à <http://hydrocarbures.gouv.qc.ca/documents/etudes/AENV14.pdf>
- Bureau des Nations unies pour la réduction des risques de catastrophes (UNISDR) (s.d.). Canada : Disaster and Risk profile. Repéré à <https://www.preventionweb.net/countries/can/data/>
- Campbell, N et Reece, J. B. (2012). Biologie (4ième edition). Saint-Laurent, Québec, Canada : ERPI
- Campedel, M., Cozzani, V., Krausmann, E. et Renni, E. (2009). Industrial accidents triggered by flood events: Analysis of past accidents. *Journal of Hazardous Material*, 175 (2010), 501-509.
- Canards Illimités Canada (2018). L'inventaire canadien des milieux humides. Repéré à <http://www.canards.ca/linventaire-canadien-des-terres-humide/>
- Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) (2009). Stratégie pancanadienne pour la gestion d'eaux usées municipales. Repéré à https://www.ccme.ca/files/Resourcess/fr_water/fr_mwwe/cda_wide_strategy_mwwe_final_f.pdf
- Corriveau, J. (2017). INONDATIONS : Entre 500 et 800 résidences ont été détruites. Repéré à <http://www.ledevoir.com/politique/quebec/501908/entre-500-et-800-residences-detruites-dans-les-inondations>
- Drobenko, B. (2010). Directive inondation : La prévention impérative. *Revue Juridique de l'environnement* 35(2010-1). p.25-35.
- Duco, G et Gouzy, A (2008). La connaissance des éléments traces métalliques : un défi pour la gestion de l'environnement. *Air Pur*, 75 (deuxième semestre 2008), p.6-10. Repéré à http://www.appa.asso.fr/_docs/7/fckeditor/file/Revues/AirPur/Airpur_75_Gouzy.pdf
- El Hajj, C. (2014). *Méthodologie pour l'analyse et la prévention du risque d'accidents technologiques induits par l'inondation (Natech) d'un site industriel* (thèse de doctorat). École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne, Saint-Étienne, France.
- Entreprise Québec (2017). Entreprises Québec : Secteurs d'activité. Repéré à <https://www2.gouv.qc.ca/entreprises/portail/quebec/popupgrand?x=aideSecteursActivites>
- Fang, X., Gong, Y., Li, J., Li, X. et Wang, W. (2016). Case studies of the sponge city program in China. *ResearchGate*. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/303362681_Case_Studies_of_the_Sponge_City_Program_in_China?enrichId=rgreq-5917237cf915bf9584bd536733178d29-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwMzM2MjY4MTtBUzo1NDgwMjkzMTI3OTQ2MjRAMTUwNzY3MTc3ODMwOA%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf
- Fondriest Environmental Inc. (2014). *Fundamentals of Environmental Measurements : Turbidity, Total Suspended Solids and Water Clarity*. Repéré sur le site : <http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/turbidity-total-suspended-solids-water-clarity/>
- Fortier, C. (2013). *Impact des changements climatiques sur les débordements des réseaux d'égouts unitaires* (mémoire de maîtrise). Université du Québec, Montréal, Québec, Canada.

- Gagné, C. (2016). Les OBV du Québec prêts à agir. Communication présentée au lancement du programme Action-Climat Québec. Repéré à <https://robvq.qc.ca/communiques/details/18>
- Garant, D. (2009). *La problématique des surverses dans l'agglomération montréalaise; Les aménagements alternatifs et complémentaires aux bassins de rétention* (Essai de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada.
- Gooré Bi, B. E. (2015). *Caractérisation des rejets urbains de temps de pluie (RUTP) et impacts des changements climatiques* (Thèse de doctorat). École de Technologie Supérieure, Montréal, Québec, Canada.
- Gouvernement du Canada (2013). Cartographie et la délimitation des inondations. Repéré à <http://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/geomatique/imagerie-satellitaire-photos-aeriennes/imagerie-satellitaire-produits/ressources-educatives/9302>
- Gouvernement du Canada (2015). Floods. Repéré à <https://www.getprepared.gc.ca/cnt/hzd/flds-en.aspx>
- Gouvernement du Canada (2017a). Urgences environnementales : réglementation. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/programme-urgences-environnementales/reglementation.html>
- Gouvernement du Canada (2017b). Préparer les collectivités aux inondations. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/campagne/prevention-inondation/collectivites.html?wbdisable=true>
- Gouvernement de l'Angleterre (2018). Flood warnings for England. Repéré à <https://flood-warning-information.service.gov.uk/warnings>
- Gouvernement du Canada (2018a). Registre public des espèces en péril : Index des espèces de A à Z. Repéré à http://www.registrelep-sararegistry.gc.ca/sar/index/default_f.cfm
- Gouvernement du Québec (2011). Rapport synthèse d'évaluation de la Politique nationale de l'eau pour la période 2003-2009. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/politique/bilan/rapport-synthese2003-2009.pdf>
- Gouvernement du Québec (2017a). Inondations printanières 2017 : Le gouvernement du Québec confirme le retrait officiel des Forces armées canadiennes. Repéré à <https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/ministere/salle-presse/communiques/detail/13780.html>
- Gouvernement du Québec (2017b). Présentation au Colloque sur la sécurité civile 2017 : Gestion des risques d'inondation et vulnérabilité territoriale et sociale : regards croisés France-Québec. Repréré à <https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/activites-et-evenements/colloque-sc/2017/conferenciers/gestion-des-risques-dinondation-et-vulnerabilite-territoriale-et-sociale-regards-croises-france-quebec.html>
- Gouvernement du Québec (2017c). Liste des municipalités dont la réglementation n'est pas conforme à la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables et des municipalités inondées au printemps 2017 qui ne disposent d'aucune cartographie de la zone inondable. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/communiques/2017/c1706220-liste-municipalites.pdf>
- Gouvernement du Québec (2017d). Manuel de calcul et de conception des ouvrages municipaux de gestion des eaux pluviales aux fins d'obtenir une soustraction au processus d'autorisation par

déclaration de conformité. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/pluviales/manuel-calcul-conception/manuel.pdf>

Gratton, L. (2015). Les données sur la biodiversité : où les trouver, comment les utiliser?. Repéré à http://www.naturequebec.org/fileadmin/fichiers2015/publications/ATE15_GrattonL_Donn%C3%A9esBiodiversit%C3%A9.pdf

Great Barrier Reef Marine Park Authority (GBRMPA) (2009). Great Barrier Reef Outlook Report. Repéré à http://www.gbrmpa.gov.au/_data/assets/pdf_file/0016/3904/GBRMPA_OR_CH7.pdf

Grevêche, M-P et Vaute, L. (2015). Au coeur de l'ISO 14001:2015 : Le système de management environnemental au centre de la stratégie. La Plaine Saint-Denis Cedex, France : AFNOR édition.

Han, Y., Jiang, M., Li, H. et Xing, M. (2016). The review of sponge city. *Advances in Engineering Research*, 63, p.23-26.

Harrison, J. (2007). Notes de cours TCH-025 Travaux de Génie Civil : Module 7 Les infrastructures municipales. Repéré à https://ena.etsmtl.ca/pluginfile.php/123449/mod_resource/content/1/MODULE%207.pdf

Hicks, D. M. (2014). Overview of Wastewater & Water Treatment Markets in Canada : Canada Forum IFAT-Entsorga 2014. Repéré à https://www.bayfor.org/media/uploads/ktml/files/IFAT%202014_HICKS_The%20Water-Wastewater%20Sector%20in%20Canada.pdf

Historica Canada (2016). Changement Climatique. Repéré à <http://www.encyclopediecanadienne.ca/fr/article/changement-climatique/>

Ibragimow, A., Siepak, M. et Walna, B. (2013). Effects of Flooding on the Contamination of Floodplain Sediments with Available Fractions of Trace Metals (Western Poland). *Polish Journal of Environmental Studies*, 22 (1), 131-140

International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (2016). World Disasters Report : Resilience: saving lives today, investing for tomorrow. Repéré à http://www.ifrc.org/Global/Documents/Secretariat/201610/WDR%202016-FINAL_web.pdf

Institut de prévention des sinistres catastrophiques (s.d.) Comment réduire les risques d'inondation de sous-sols : Option 6 : Dégagez les grilles des bouches d'égouts pluviaux. Repéré à <http://www.reduirelesinondationsdesous-sol.com/option6.html>

Lachance, Y., Lavoie, G. et Tardif, B. (2005). Atlas de la biodiversité du Québec : Les espèces menacées ou vulnérables. Repéré à <http://www.cdpnq.gouv.qc.ca/pdf/Atlas-biodiversite.pdf>

Leblanc, É. (2018). Rotterdam, modèle urbain pour la prévention des inondations. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1096802/rotterdam-modele-urbain-prevention-inondations>

Loi canadienne sur la protection de l'environnement (a), LCPE 1999, Annexe 1.

Loi canadienne sur la protection de l'environnement (b), LCPE 1999, art. 313.

Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques, 2017.

Loi sur la qualité de l'environnement, LQE 2017 Q-2.

Loi sur les compétences municipales (a), C-47.1 2017, c-8.

Loi sur les compétences municipales (b), C-47.1 2017, c-5.

Loi sur les espèces menacées ou vulnérables, LEMV E-12.01.

Loi sur les pêches, F-14 1985.

Madoux-Humery, A.-S. (2015). *Caractérisation des débordements d'égouts unitaires et évaluation de leurs impacts sur la qualité de l'eau au niveau des prises d'eau potable* (thèse de doctorat). École Polytechnique de Montréal, Montréal, Québec, Canada.

Malsch, E. (2011) Madrid Rio : Quand les madrilènes redécouvrent leur rivière. Repéré à <https://www.urbanews.fr/2011/06/09/14199-madrid-rio-quand-les-madrilenes-redecouvrent-leur-riviere/>

Markelova, E. (2016). *Redox potential and mobility of contaminant oxyanions (As, Sb, Cr) in argillaceous rock subjected to oxic and anoxic cycles* (thèse de doctorat). Université Grenoble Alpes, Grenoble, France.

Météo Média (2018). Inondations au Québec : ce n'est pas fini. Repéré à <https://www.meteomedia.com/nouvelles/articles/inondations-au-quebec--beaucoup-de-rivieres-a-surveiller/100391>

Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT) (2010). La biodiversité et l'urbanisation : Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable. Repéré à https://www.mamot.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/grands_dossiers/developpement_durable/biodiversite_urbanisation_complet.pdf

Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT) (2014). Évaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2013 : Ouvrages de surverse et stations d'épuration. Repéré à <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvrages-municipaux/omaeu-mamot/2013.pdf>

MAMOT (2015). Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables : Guide d'interprétation. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/rives/guide-interpretationPPRLPI.pdf>

MAMOT (2017). Guide à l'intention des citoyens et des municipalités : Décret relatif à la déclaration d'une zone d'intervention spéciale sur le territoire de 210 municipalités touchées par les inondations survenues au printemps 2017. Repéré à https://www.mamot.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/ministere/inondations_printanieres_2017/guide_citoyens_inondations_2017_decretZIS_fr.pdf

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) (2014). *Guide de gestion des eaux pluviales* - Stratégie d'aménagement, principes de conception et pratiques de gestion optimale pour les réseaux de drainage en milieu urbain. Repéré sur le site du MDDELCC, section Eau, Eaux usées et

pluviales, Eaux pluviales : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide-gestion-eaux-pluviales.pdf>

MDDELCC. (2017a, 10 novembre). Forum inondations 2017 : Les inondations au Québec dans un contexte de changements climatiques [Vidéo en ligne]. Repéré à <https://www.youtube.com/watch?v=MvbH4D6h4Sw>

MDDELCC (2017b). Manuel de calcul et de conception des ouvrages municipaux de gestion des eaux pluviales : aux fins d'obtenir une soustraction au processus d'autorisation par déclaration de conformité. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/pluviales/manuel-calcul-conception/manuel.pdf>

MDDELCC (2018a). Politique nationale de l'eau : La vie. L'avenir. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/politique/>

MDDELCC (2018b). Projet de règlement modifiant le Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvrages-municipaux/reglement-ouvrages-assainissement-eaux-usees.htm>

MDDELCC (2018c). Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées : Foire aux questions. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvrages-municipaux/reglement-faq.htm>

MDDELCC (2018d). Suivi d'exploitation des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées (OMAE) : Station d'épuration et ouvrages de surverse. Repéré à http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/Programme_Suivi_OMAE.pdf

MDDELCC (2018e). Aires protégées : Carte interactive. Repéré à http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/biodiversite/aires_protegees/carte-interactive.htm

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) (2006). Liste des espèces désignées comme menacées ou vulnérables au Québec. Repéré à <http://www3.mffp.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/liste.asp#susceptibles>

MFFP (2018a). Carte des habitats d'espèces floristiques menacées ou vulnérables. Repéré à http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/biodiversite/habitats/Carte-Habitat_floristique.htm

MFFP (2018b). Les écosystèmes forestiers exceptionnels : éléments clés de la diversité biologique du Québec. Repéré à <https://mffp.gouv.qc.ca/les-forets/connaissances-forestieres-environnementales/connaissances-forestieres-environnementales/>

Ministère de la sécurité publique du Canada (2017). Catastrophes naturelles du Canada. Repéré à <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/ntrl-hzrds/index-fr.aspx>

Moreau Defarges, T. et all. (2011). Impact des médicaments sur l'environnement : état des lieux, évaluation des risques, communication. *Thérapie*, 66(4), p.335-340.

Müller, U. (2013). Implementation of the flood risk management directive in selected european countries. *International Journal of Disaster Risk Science*, 4(3), p.115-125.

- Nantel, A. (2012). *Comparaison de trois méthodes d'évaluation du volume de débordement d'égout unitaire aux émissaires de débordement* (mémoire de maîtrise). École de Technologie Supérieure, Montréal, Québec, Canada.
- Norpac et l'Institut du Développement Durable et Responsable de l'université catholique de Lille (IDDR) (2011a). Le guide de la biodiversité : Dix principes et concepts essentiels en écologie – Applications des concepts au milieu urbain : Résilience. Repéré à <http://www.biodiversite-positive.fr/resilience/>
- Norpac et IDDR (2011b). Le guide de la biodiversité : Dix principes et concepts essentiels en écologie – Applications des concepts au milieu urbain : Qu'est-ce que la biodiversité?. Repéré à <http://www.biodiversite-positive.fr/quest-ce-la-biodiversite/>
- Norpac et IDDR (2011c). Le guide de la biodiversité : Dix principes et concepts essentiels en écologie – Applications des concepts au milieu urbain : La notion d'espèce : rareté, protections, menaces et statuts. Repéré à <http://www.biodiversite-positive.fr/la-notion-despece-rarete-protections-menaces-statuts/>
- Olivier, M. (2015). Chimie de l'environnement (7ème édition). Longueuil, Québec, Canada : Lab Éditions
- Organisme des bassins versants de la capitale (2015). 5.1.4 Usages municipaux. Repéré à <http://www.obvcapitale.org/plans-directeurs-de-leau-2/2e-generation/introduction2e/section-5-activites-humaines-utilisation-du-territoire-et-usages-de-leau/usages-municipaux>
- Organisation internationale de normalisation (ISO). (2015a). Système de management environnemental : Exigences et lignes directrices pour son utilisation. *Norme internationale ISO 14001*. Genève, Suisse : auteur.
- Organisation internationale de normalisation (ISO). (2015b). Tout juste éclore ! : Les nouvelles normes ISO9001 et ISO 14001. *ISO focus, 2015* (113). 1-49.
- Osseyrane, M. (2014). Congrès INFRA 2014 – Débordements des réseaux unitaires – État de la situation. Repéré à https://ceriu.qc.ca/system/files/fl1.1_mohamad_osseyrane.pdf
- Ouranos (2015). Vers l'adaptation : Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Édition 2015. Repéré sur le site d'Ouranos, section Accueil. Synthèse 2015. Repéré à : <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/SyntheseRapportfinal.pdf>
- Pelletier, J. (2017). *Gouvernance territoriale des risques naturels au Québec et événements extrêmes : Le cas de l'inondation à Saint-Jean-Sur-Richelieu en 2011* (Mémoire de maîtrise). Université du Québec, Montréal, Québec, Canada.
- Pineda, A. (2017). Des sinistrés des inondations printanières déversent leur colère. Repéré à <http://www.ledevoir.com/politique/quebec/503142/inondations-consultation-sur-le-decret>
- Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*, PPRLPI 2017.
- Pongmala, K. (2012). *Modélisation de la contamination microbienne et des concentrations d'un micropolluant dans les débordements de réseaux d'égouts unitaires* (Mémoire de maîtrise). École Polytechnique de Montréal, Montréal, Québec, Canada.

- Radio-Canada (2018). Inondations: la Garde côtière en renfort au Nouveau-Brunswick. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1099238/inondations-nouveau-brunswick-garde-cotiere-renfort>
- Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées, Q-2, r. 34.1.*
- Règlement sur les urgences environnementales (a), DORS/2003-307, art.3.*
- Règlement sur les urgences environnementales (b), DORS/2003-307, art.4.*
- Règlement sur les urgences environnementales (c), DORS/2003-307, Annexe 1.*
- Service de l'eau de la ville de Montréal (2015). Évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques du réseau de drainage unitaire de Montréal. Repéré à https://pievc.ca/sites/default/files/montreal_stormwater_july_2015.pdf
- Shields, A. (2017, 22 mars). Québec verrouille l'accès aux données sur les eaux usées. Le Devoir. Repéré à <http://www.ledevoir.com/societe/environnement/494508/eaux-usees>
- Statistique Canada (2017). Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN) : Canada (No 12-501-X, version 2). Repéré à <https://www.statcan.gc.ca/pub/12-501-x/12-501-x2016002-fra.pdf>
- Talbot, V. (2013). De nouveaux travaux sont enclenchés. Journal La revue, Section Municipal. Repéré à http://www.larevue.qc.ca/municipal_nouveaux-travaux-sont-enclenches-n26045.php
- Terrin, J.-J. (2014). Villes inondables : Prévention, adaptation, résilience (1ère édition). Marseille, France : Parenthèses.
- Trudelle, J. (2014). *La servitude de conservation et la protection durable des milieux naturels au Québec : Constats et recommandations* (Essai de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada.
- Urbanova projet immobilier Terrebonne (2017). Le plus grand projet écoresponsable au Canada. Repéré à <http://www.urbanova.ca/le-plus-grand-projet-ecoresponsable-canada.html>
- Val-de-Marne (s.d.). Schéma de fonctionnement des stations anti-crues. Repéré à https://www.valdemarne.fr/sites/default/files/field/images/articles/schema_fctt_station_anti-crue.jpg
- Varone, D. (2014). Water squares: le piazze d'acqua che attirano la pioggia. Repéré à <http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/water-squares-piazze-dacqua-attirano-la-pioggia-564/>
- Ville de Montréal (2014). Info-permis : Les clapets antiretour, l'équipement de relevage automatique et les gouttières. Repéré à http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ARROND_AHC_FR/MEDIA/DOCUMENTS/18_CLAPETS_ANTIRETOUR_2.PDF
- Ville de Montréal (s.d.). Réseau de suivi du milieu aquatique : Bilan du programme QUALO. Repéré à http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO_FR/MEDIA/DOCUMENTS/INDICATEUR_QUALO_RSMA.PDF

- Ville d'Ottawa (2018). Collecte et traitement des eaux usées. Repéré à <https://ottawa.ca/fr/residents/eau-et-environnement/eaux-usees-et-egouts/collecte-et-traitement-des-eaux-usees>
- Vivre en Ville (2014). Objectif écoquartiers : Principes et balises pour guider les décideurs et les promoteurs. Repéré à http://objectifecoquartiers.org/media/337746/venv_2014_objectifecoquartiers.pdf
- Zagury, G. J. (2010). Notes de cours GLQ23000 : Géochimie de l'environnement (n.6387). Montréal, Québec, Canada : Presses Internationales Polytechnique
- Zagury, G. J. (2015). Notes de cours CIV 6216A : Restauration des sols contaminés. Montréal, Québec, Canada : Presses Internationales Polytechnique

BIBLIOGRAPHIE

- Ciel et Terre et Triangle vert Québec (2016). Parcours des milieux naturels : activités d'information et de sensibilisation – Comprendre le contexte. Repéré à <http://parcoursdesmilieuxnaturels.ca/comprendre-le-contexte/>
- Conseil général de Val de Marne (s.d) Plan bleu du Val-De-Marne. Repéré à https://www.valdemarne.fr/sites/default/files/actions/3v_eaux_pluviales_bd.pdf
- Entreprise Québec (2016). Environnement. Repéré à <https://www2.gouv.qc.ca/entreprises/portail/quebec/gerer?g=gerer&t=o&e=178392098>
- Gouvernement du Canada (2014). Pollution issue des eaux usées. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/eaux-usees/pollution.html>
- Gouvernement du Canada (2018b). Urgences environnementales : un aperçu du programme. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/programme-urgences-environnementales/apercu.html>
- Gouvernement du Québec (2015). Inondations : guide d'intervention à l'intention des intervenants de santé environnementale. Repéré à https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1956_Inondations_Guide_Intervention.pdf
- Lafontaine, V. (2016). *Analyse de nouvelles opportunités permettant d'améliorer la santé des cours d'eau du Québec méridional* (Essai de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada.
- Lambert, S (2011). *Impacts des changements climatiques sur la disponibilité de l'eau dans le sud du Québec* (Essai de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada.
- Lavallée, B. (2016). État de situation sur la problématique de débordement d'eaux usées au Québec. Repéré à https://ceriu.qc.ca/system/files/f2.1_b_lavallee.pdf
- Ministère des Affaires municipales, Régions et Occupation du territoire (MAMOT) (2010). Rapport d'Évaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2009 : Ouvrages de surverse et stations d'épuration. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvrages-municipaux/omaeu-mamot/2009.pdf>
- Ministère de la Transition écologique et solidaire (2018). Le risque inondation, principal risque naturel majeur. Repéré à <http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/le-risque-inondation-principal-risque-naturel-a15625.html>
- United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO) (2008). *Link between biological and cultural diversity: Report of the International Workshop*. (SC/EES/AP/5865/40). Paris, France: Auteur.
- Urgence Environnement Québec (s.d.) Urgence environnementale à signaler ?. Repéré à http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/ministere/urgence_environnement/Depliant-urgence.pdf

Ville de Montréal (2015). Évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques du réseau de drainage unitaire de Montréal. Repéré à https://pievc.ca/sites/default/files/montreal_stormwater_july_2015.pdf

ANNEXE 1 – SCHÉMATISATION DE LA PROBLÉMATIQUE DES INONDATIONS

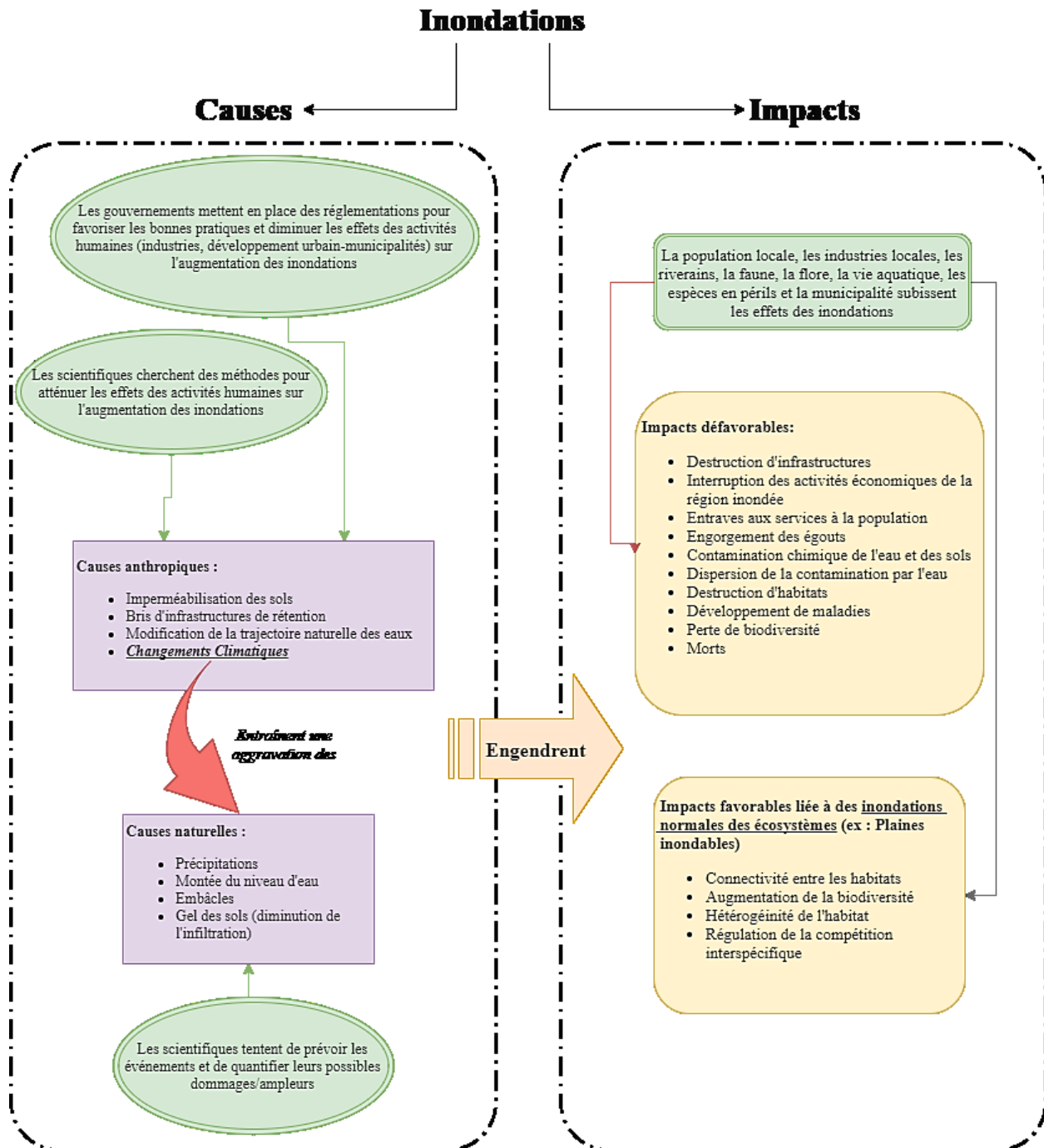


Figure A. 1 : Schéma de la problématique des inondations

ANNEXE 2 – LOCALISATION DES INDUSTRIES QUI POSSÈDENT DES MATIÈRES DANGEREUSES AU QUÉBEC EN 2007

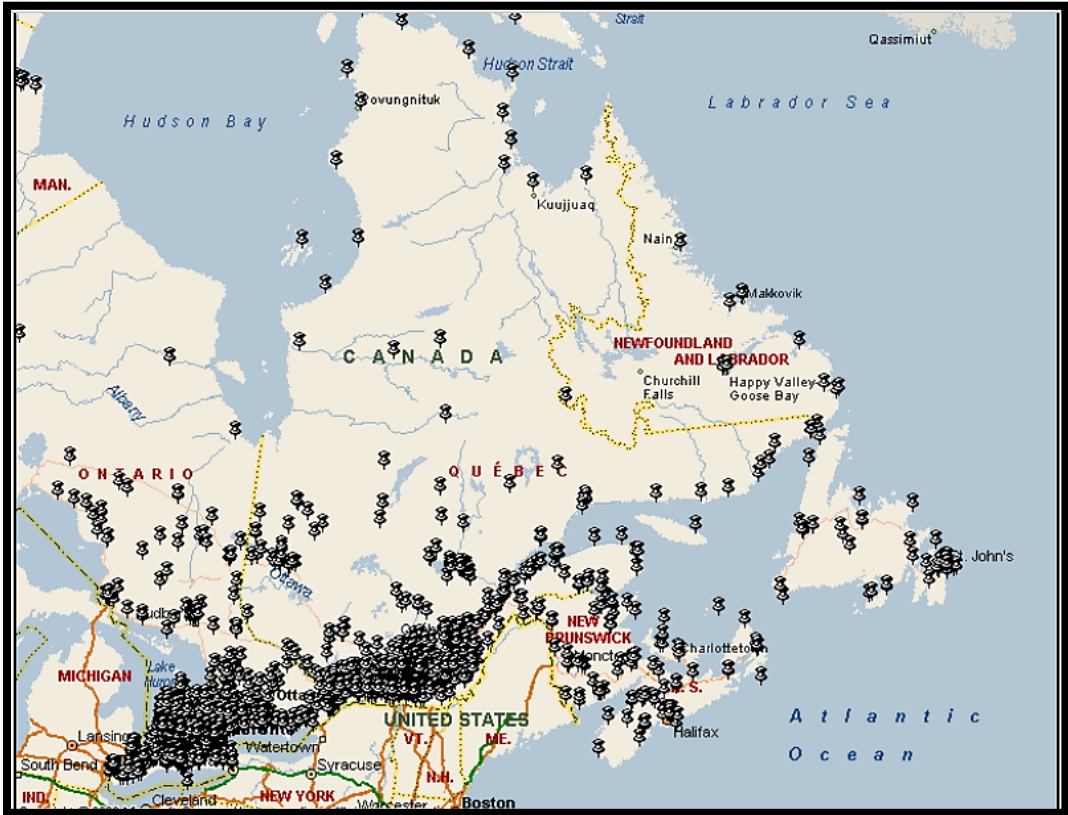


Figure A. 2 : Localisation des industries qui possèdent des matières dangereuses au Québec en 2007 (tiré de Alvarez et al., 2008)

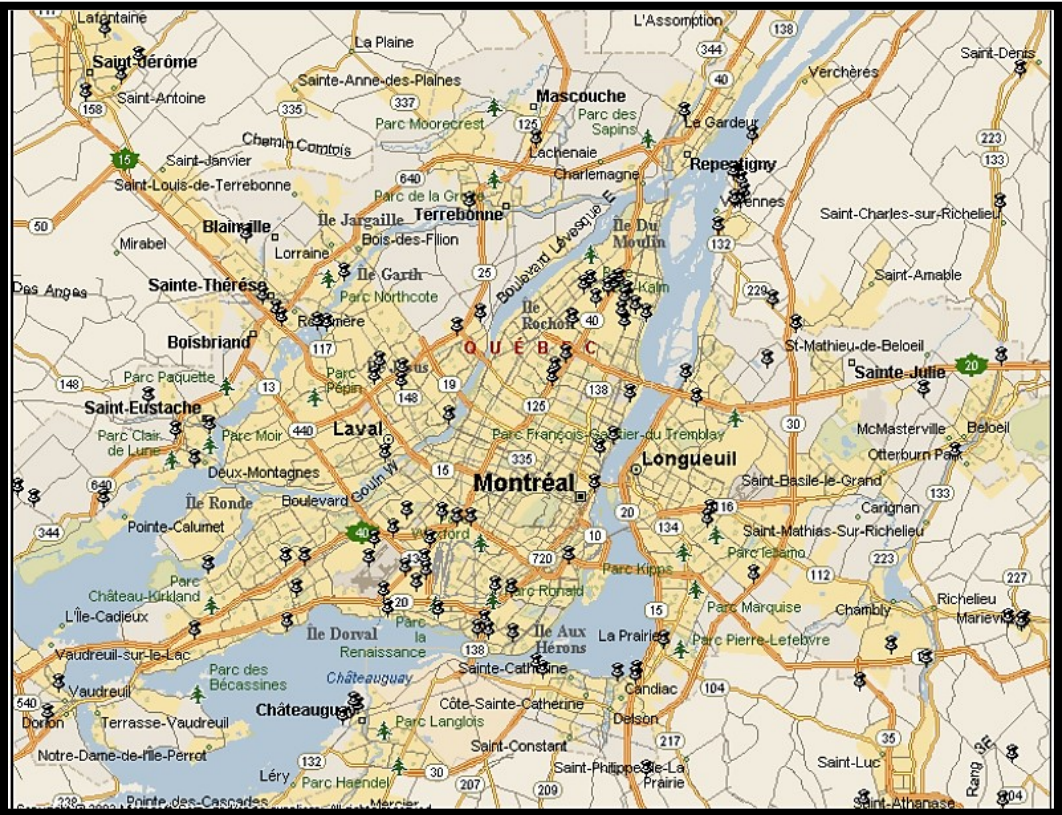


Figure A. 3 : Localisation des industries qui possèdent des matières dangereuses dans la région de Montréal en 2007 (tiré de Alvarez et al., 2008)